

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

Bc. ZUZANA ŠEBESTÍKOVÁ

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní



Studijní program: N 3108 – Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management - textil

Stanovení vlastností materiálů vhodných jako ochrana proti úderu

Determination of properties of materials suitable for protection
against shock

Diplomová práce

KHT-131

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ondřej Novák Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stránek textu ...62

Počet obrázků25 (včetně grafů)

Počet tabulek7

Počet příloh2

Originální zadání

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěla jmenovitě poděkovat lidem, kteří mne při zpracovávání této diplomové práce podporovali, ochotně a odborně vedli k úspěšnému dokončení.

Největší poděkování patří vedoucímu diplomové práce za odborné vedení a konstruktivní připomínky Ing. Ondřeji Novákovi Ph.D.

Rovněž bych chtěla poděkovat slečně Ing. Haně Ivanišové za konzultace ohledně materiálů a jejich poskytnutí.

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na studium vlastností materiálů vhodných k výrobě protiúderových rukavic využívaných policií a armádou, které musí odolávat úderu tak, aby ochránily nositele před zraněním.

Práce je rozdělena na dvě části. V první části jsou uvedeny požadavky na protiúderové rukavice, principy působení sil při úderu a materiálová řešení, která se zabývá popisem a výběrem vhodných materiálů odolávajících či pohlcujících úder.

Experimentální část se zabývá možností výběru běžně stanovitelných vlastností, jako jsou pevnost v tahu a stlačitelnost, na základě kterých by bylo možno stanovit odolnost vůči úderu, aniž by bylo nutno provádět zkoušku pomocí padostroje. Na základě provedených zkoušek je navržena nová výkonnější skladba materiálů proti úderu.

Klíčová slova:

Úder, princip mechanismu úderu, protiúderové materiály (polymery), protiúderové rukavice

Annotation

This thesis is focused on the study of the properties of materials suitable for the manufacture of the gloves used by police and army which must withstand some shock to protect the wearer from injury.

The work is divided into two parts. The first section lists the requirements for protecting gloves against the hit, the principles of the impact forces and research of materials that deals with the characterization and selection of suitable materials able to resist or absorb the hit.

The experimental part deals with the possibility of choosing commonly determinable properties such as tensile strength and compressibility, under which it would be possible to determine the resistance to shock, without having to perform the tests by Atwood's machine. On the basis of performed tests the new and more efficient composition of textiles against strikes was designed.

Key words:

Strike, principles of the impact forces, textiles against strikes (polymers), protecting gloves against the hit

Seznam vybraných zkratek

m	hmotnost
v	rychlost
g	tíhové zrychlení
h	výška
E_k	kinetická energie
E_p	potencionální energie
dE_k	derivace kinetické energie
d_v	derivace rychlosti
dt	derivace času
W_k	práce kinetické energie
F	síla
l	délka
M_o	ohybový moment
Δl	prodloužení
b	šířka textilie
W_o	modul nosného průřezu v ohybu
σ_{Po}	pevnost v ohybu
ε_v	objemová deformace
ΔV	rozdíl objemů
V_o	počáteční objem tělesa
V	objem tělesa
p	objemové napětí
K	modul objemové pružnosti
T	teplota
$V_{stlač.}$	objem ve stlačeném stavu
V_{vzduch}	objem vzduchu

$V_{polymer}$ objem polymeru

s dráha

a zrychlení

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Teoretická část	13
2.1. Požadavky na vojenské a policejní rukavice.....	13
2.2. Třídy úderu.....	14
2.3. Princip působení sil při úderu	16
2.4. Energie padajícího tělesa.....	16
2.5. Kinetická energie kyvadla.....	17
2.6. Disipace sil	18
3. Materiálová řešení	21
3.1. Syntetické kaučuky	21
3.1.1. Etylenpropylenové kaučuky	21
3.1.2. Chloroprenový kaučuk – Neopren (CR).....	22
3.1.3. Vulkanizační činidla kaučuků.....	23
3.1.4. Plastikace kaučuků.....	23
3.2. Polyuretany	24
3.3. Polyolefiny	26
3.3.1. Polyetylen (PE)	27
3.3.2. Polypropylen (PP).....	28
3.4. Příspěvky do polymerů ovlivňující fyzikální vlastnosti.....	29
3.5. Zpracování polymerů na lehčené hmoty	29
3.5.1. Nadouvadla	30
3.5.2. Napěňování mechanicky.....	30
3.5.3. Napěňování plyny a nízkovroucími kapalinami	31
3.5.4. Lehčení zplodinami chemické reakce složek polymerní směsi	31
3.5.5. Lehčení pomocí nadouvadla	31
3.6. Otevřená a uzavřená buněčná struktura polymerních pěn	31
3.7. Zpracování polymerů v plastickém stavu	32
3.7.1. Lisování	33
3.7.2. Válcování.....	33
3.7.3. Vytlačování.....	34
3.7.4. Vstřikování	34
3.8. Distanční pleteniny.....	35
3.8.1. Výroba distanční pleteniny na osnovních pletacích strojích	35
4. Experimentální část.....	37
4.1. Hypotéza	37
4.2. Popis zkušebních vzorků a jejich značení	37

4.3.	Stanovení pevnosti a tažnosti vybraných materiálů	38
4.3.1.	Použité metody a zařízení.....	38
4.4.	Stanovení stlačitelnosti polymerních materiálů	39
4.4.1.	Použitá metoda	39
4.5.	Stanovení úderu (TON I)	40
4.5.1.	Použité metody a zařízení.....	41
4.6.	Stanovení skladby sendvičových materiálů	45
4.6.1.	Použité metody a zařízení.....	45
5.	Výsledky	45
5.1.	Tahová zkouška.....	45
5.2.	Stlačitelnost	47
5.3.	Odolnost proti úderu	49
5.4.	Odolnost navržené skladby proti úderu.....	51
5.5.	Statistické vyhodnocení hypotézy	52
6.	Diskuze výsledků	54
7.	Závěr	57
8.	Literatura:.....	59
9.	Příloha	61

1. Úvod

Diplomová práce pojednává o bariérových textiliích, ze kterých se vyrábí rukavice pro policii a armádu České republiky. Tyto rukavice by měly ochránit nositele před silným úderem, což umožňuje kombinace různých vrstev a konstrukce rukavic. Každá vrstva plní jinou funkci a díky spojení těchto vrstev dostane rukavice požadované fyzikální a mechanické vlastnosti, které jsou zapotřebí pro ochranu části horních končetin. Proto je tato práce zaměřena především na vrstvu, která chrání nositele před silným úderem.

V teoretické části jsou uvedeny požadavky, které jsou kladeny na policejní a armádní rukavice, jako jsou například odolnost proti bodným zbraním, odolnost proti nárazu a odolnost proti teplu a plameni. Následuje popsání principů působení sil při úderu, které nám slouží k vytvoření simulace potřebného úderu. V materiálové rešerši jsou vybrány a popsány vlastnosti vybraných materiálů, které mají dobrý předpoklad k výrobě protiúderových rukavic například pro svou pevnost, pružnost, dobrou elastickou deformaci a příznivé zpracovatelské vlastnosti.

Experimentální část se zabývá vyhledáváním významných závislostí, které by umožňovaly vybrat či navrhnout vhodný materiál odolávající úderu na základě běžně stanovitelných vlastností, jako jsou pevnost v tahu a stlačitelnost. Jelikož testování úderu nese sebou časově a prostorově náročné operace, je snahou se jim vyhnout. Z těchto důvodů odzkoušení daných materiálů je navržen a sestrojen vlastní padostroj nové konstrukce, k ověření výše uvedených závislostí. Na základě statistického vyhodnocení získaných dat měřením je navržena nová skladba protiúderové rukavice.

Dále jsou zde uvedeny použité materiály, nastínění jednotlivých postupů zkoušek a uvedeny a zhodnoceny početně i graficky získané data.

Diplomová práce vznikla ve spolupráci s firmou Holík International s.r.o., se sídlem ve Zlíně. Firma se zabývá produkcí speciálních rukavic určených pro policii, armádu a hasiče.

2. Teoretická část

V této kapitole jsou popsány požadavky, které jsou kladeny na vojenské a policejní protiúderové rukavice, rozdělení úderů do tříd a principy působení sil při úderu.

2.1. Požadavky na vojenské a policejní rukavice

Protiúderové rukavice jsou nedílnou a důležitou součástí výzbroje České armády a policie. Tyto rukavice slouží především k ochraně ruky, popřípadě předloktí (záleží na jejich délce). Rukavice je konstruována tak, aby ochránila uživatele v extrémních bojových podmínkách, například když jsou policisté nasazeni proti agresivním demonstrantům. Aby rukavice plnila dokonale svou ochrannou funkci, musí být plně kompatibilní s ostatní vojenskou či policejní výzbrojí. Dále musí vyhovovat dalším potřebám ohledně manipulace s obraným štítem, který je důležitou součástí výzbroje při demonstracích, zde nastává problém ve velikosti uchycení vojenského či policejního štítu. Šíře rukavice nesmí být příliš velká, aby se ruka s rukavicí vešla do držadla obraného štítu. Ukázku protiúderových rukavic můžeme vidět na obrázcích 2.1 a 2.2.

Vrchní část rukavice je zhotovena především z usně (kozina), která vyniká svou pevností a odolností proti oděru a disponuje hydrofobní úpravou. Dlaňová část je opatřena výztuhou, která je podložena proti-průřezovou textilií vyrobenou ze směsi Kevlaru a Nomexu. Kevlar a Nomex jsou vysoce výkonné materiály v oblasti ochrany lidského těla. Kevlar je používán pro své unikátní vlastnosti, jako je vysoká pevnost, stabilita při vysokých teplotách a nízká hmotnost. Naproti tomu Nomex dodává výrobku odolnost vůči teple a ohni. Výrobek se stává ohnivzdorným. Ochranné oděvy z těchto materiálů používají například policisté, vojáci a hasiči. Materiály jsou vyráběny firmou Dupont. Rukavice pro armádu a policii jsou vyráběny a testovány na základě individuálních požadavků jednotlivých armádních a policejních složek.[1]



*Obr.2.1: Extra dlouhé protiúderové rukavice
pro armádu a policii*

*Obr.2.2: Krátké protiúderové rukavice
pro bezpečnostní složky*

Zdroj: Katalogy výrobků a informace o sortimentu společnosti Holik International, spol. s r.o. Dostupné z: <http://www.holik-international.cz/rukavice-pro-armadu-a-policii/>

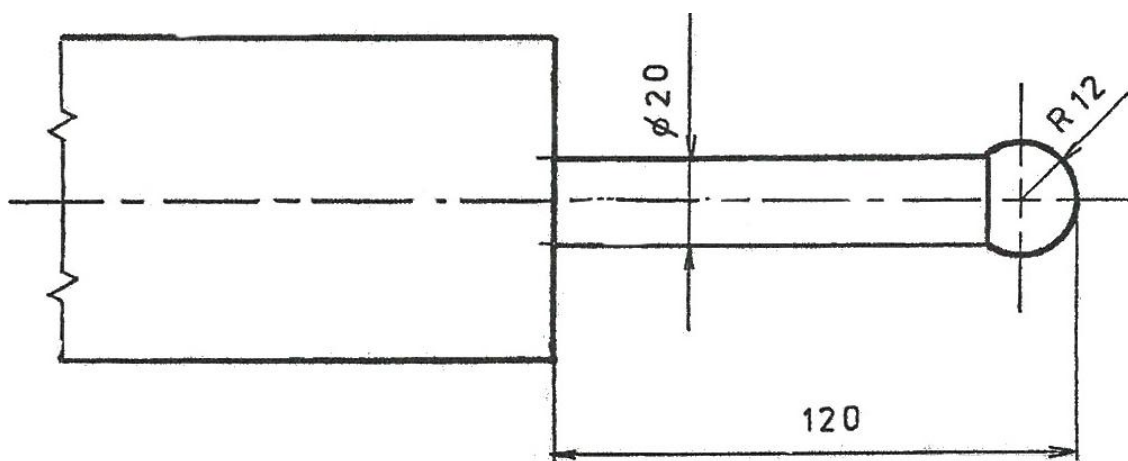
Výčet dalších požadavků, které by protiúderové rukavice měly splňovat:

- Odolnost proti bodným zbraním dle normy ČSN 39 5360
- Odolnost proti nárazu – nárazová zkouška dle normy EN ISO 18814 – 1
- Odolnost proti nárazu – zkouška tuhosti dle normy EN ISO 18814 -1
- Odolnost proti teplu a plameni - materiálové sestavy dle normy EN ISO 144460
- Odolnost proti teplu a plameni – přenos tepla (žáru) dle normy EN ISO 144460
- Odolnost proti teplu a plameni - mechanická odolnost dle normy EN ISO 144460
- Odolnost proti teplu a plameni – nitě ve švu dle normy EN ISO 144460
- Odolnost proti oděru
- Odolnost proti dalšímu trhání
- Odolnost proti průniku vody
- Citlivost rukavice (určitá schopnost manipulace s předměty, například s policejním obuškem)[1]

2.2. Třídy úderu

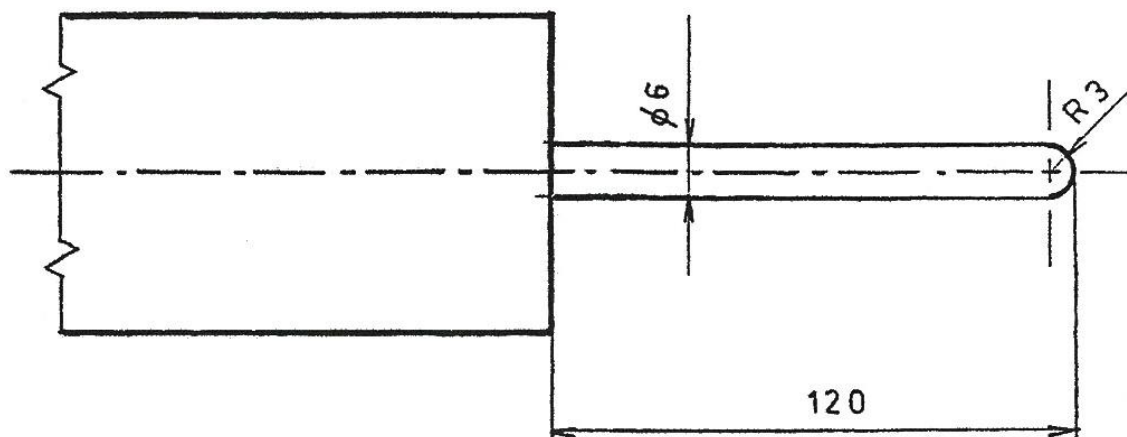
Norma ČSN 39 5360 klasifikuje tři třídy úderu podle odolnosti vůči bodným zbraním označujícím se zkratkou TON. Úderové třídy jsou odlišeny prostřednictvím tvaru hrotu zkušebního tělesa, které je vyrobeno z nástrojové ocele. Členění na:

- | | | |
|------------|----------------|-------------------|
| a) TON I | tvar polokoule | (Obr. č. 2.3) |
| b) TON II | tvar jehly | (Obr. č. 2.4) |
| c) TON III | tvar čepele | (Obr. č. 2.5) [2] |



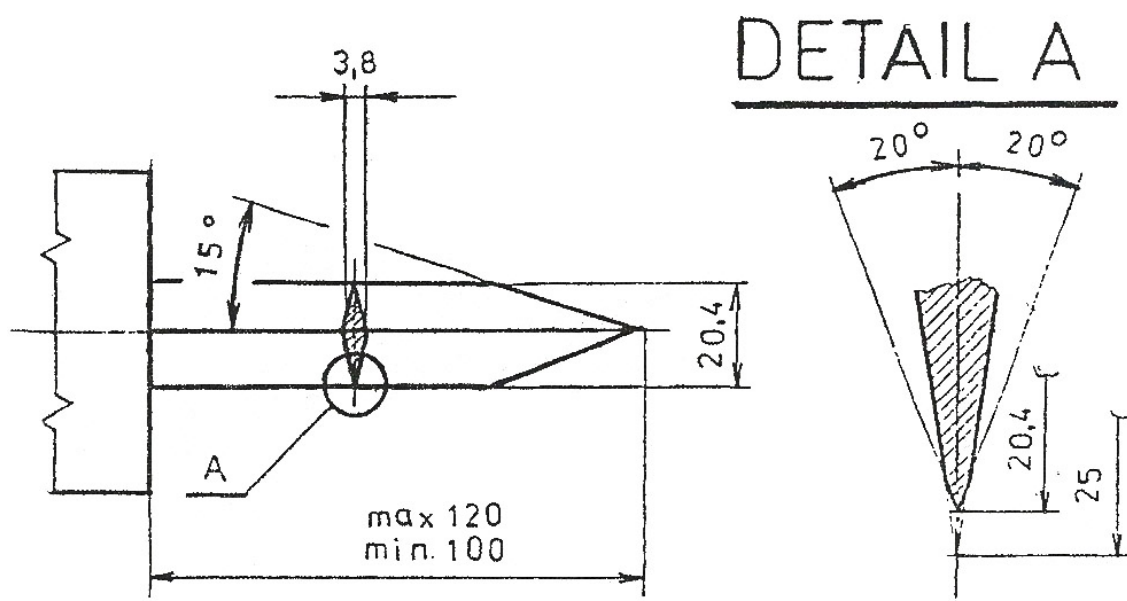
Obr.2.3: Schéma zkušební hrotu ve tvaru polokoule (TON I)

Zdroj: norma ČNS 395360



Obr.2.4: Schéma zkušební hrotu ve tvaru jehly (TON II)

Zdroj: norma ČNS 395360



Obr.2.5: Schéma zkušební hrotu ve tvaru čepele (TON III)

Zdroj: norma ČNS 395360

Tato práce je zaměřena pouze na úder zkušebním tělesem ve tvaru polokoule, tedy na třídu TON I. [2]

2.3. Princip působení sil při úderu

Tato kapitola má objasnit mechanismus sil, které působí při úderu a jejich přeměnu na deformační složky.

Rázem (úderem) nazýváme jev, při kterém dochází k téměř bezprostředním změnám rychlostních poměrů při setkání dvou hmotných objektů. Při srážce dvou těles vznikají velké rázové síly v místě styku. Tyto síly působí velmi krátkou dobu, avšak dosahují značných hodnot. Vznik rázových sil je spjat se vznikem napětí v místě srážky dvou těles. Napětí pak mohou působit lokální deformaci, která je z větší části nežádoucí.[3]

2.4. Energie padajícího tělesa

Zkouška, podle které se materiály testují, je dána normou ČSN 39 5360. Zkouška probíhá následovně: Těleso o hmotnosti 2,6 kg je volně spuštěno na zkušební vzorek z výšky 2 metrů. Pro stanovení rychlosti padajícího tělesa lze použít níže uvedené vztahy (2.1), (2.2).

Těleso, jež mění svoji výšku jen na základě gravitace, má při svém přímočarém pohybu kinetickou energii E_K a potenciální energii mgh , označenou E_P , jejichž součet zůstává neměnný:

$$\frac{1}{2} mv^2 + mgh = konst, \quad (2.1)$$

$$E_K + E_P = konst. \quad (2.2)$$

Z druhého Newtonova zákona lze určit pohyb tělesa a zjistit změny rychlosti pohybujícího se tělesa v závislosti na čase. Z toho vyplývá, že změna rychlosti roste úměrně s časem a výška tělesa se mění s druhou mocninou času.

Derivováním kinetické energie podle času a použitím Newtonových zákonů vypočítáme rovnou z druhého Newtonova zákona, jak mění kinetická energie. Derivováním $(1/2) mv^2$ podle času dostaneme vztah (2.3).

$$\frac{d E_K}{d t} = \frac{d}{d t} \left(\frac{1}{2} mv^2 \right) = \frac{1}{2} m 2 v \frac{d v}{d t} = mv \frac{d v}{d t} \quad (2.3)$$

Protože m považujeme za konstantu, z druhého Newtonova zákona vyplývá, že m $(dv/dt) = F$, takže ze vztahu (2.4)

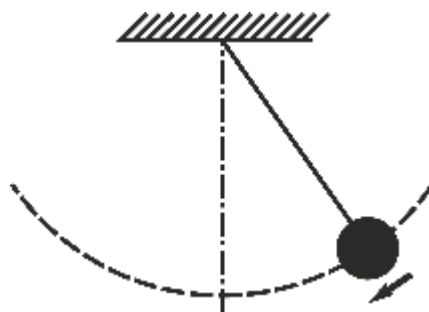
$$\frac{d E_K}{d t} = Fv. \quad (2.4)$$

Z výše uvedeného vyplývá, že míra změny kinetické energie je mg $(d h/d t)$, což znamená rychlost změny veličiny mgh . Proto si jsou s rostoucím časem změny kinetické energie a změny veličiny mgh rovny, až na znaménko. Součet obou veličin tedy zůstává konstantní. [4]

2.5. Kinetická energie kyvadla

Další způsob jak vyjádřit úder lze pomocí mechanismu kyvadla, obr.2.1. V tomto případě tvoří danou sílu při úderu kyvadlo.

Je-li závaží vychýleno ze stabilní polohy a pak uvolněno, bude se kývat z jedné strany na druhou. Pokud se do dráhy kyvadla umístí nějaký předmět či překážka dojde k nárazu, přičemž část energie kyvadla je předána dalšímu tělesu.



Obr.2.1: Schéma kyvadla

Po dobu svého pohybu z krajní polohy do středu ztrácí výšku. Gravitační energie mizí v nejnižší poloze, kde musela přejít do jiné podoby. Kinetická energie (2.5) v nejnižším bodě je rovna součinu hmotnosti m a výšky h , jež může závaží v závislosti na rychlosti dosáhnout.

$$E_K = m \cdot h \quad (2.5)$$

Pro vztah kinetické energie předmětu, jež se pohybuje rychlostí v , je nutno vypočítat výšku, které může dosáhnout a násobit ji hmotností tělesa. Tím vznikne vztah: (2.6)

$$E_k = \frac{mv^2}{2g} \quad (2.6)$$

kde g je tíhové zrychlení.[4]

2.6. Disipace sil

Tato kapitola se zabývá přeměnou energií. Při dopadu tělesa na materiál, se kinetická energie přemění na mechanické napětí a deformační energii, jak vidíme ze vztahu (2.7). Působením mechanického napětím dochází k rozměrovým změnám v materiálu, tato změna se označuje jako deformace (ε). Tudiž normálové napětí (σ) je přímo úměrné poměrnému prodloužení, modul pružnosti (E).

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.7)$$

Změna může být dočasná nebo trvalá. Je-li deformace dočasná, lze mluvit o pružné, neboli elastické deformaci. Po ukončení působení vnějších sil se tvar tělesa vrátí do původního stavu. V opačném případě, kdy jsou vnější síly natolik silné, že se těleso po působení těchto sil není schopné vrátit do původního tvaru, pak tento proces

nazýváme tvárnou, či plastickou deformací. Schopnost tělesa odolávat deformačním účinkům vnějších sil nazýváme *pevnost tělesa*.

Pro pochopení procesů deformace těles, je třeba znát zákonitosti chování vnitřních sil. Působením vnější síly (nepružný ráz) se mezi částicemi mění především vzdálenost. To má za následek zmenšení přitažlivých sil mezi částicemi, které ovlivňují průběh deformace. Pokud je změna vzdálenosti částic nepatrná, silové vazby mezi částicemi dále trvají a po změně vnějších sil se původní vzdálenosti mezi částicemi uvnitř tělesa obnoví. Schopnost tělesa obnovit své rozměry a tvary, když přestanou působit vnější síly, které těleso deformují, je popsán Hookovým zákonem, jež lze zapsat vztahem (2.8):

$$F \sim \Delta l \quad (2.8)$$

Při dostatečně malých délkových změnách je síla F úměrná prodloužení Δl .

V tomto případě se jedná o elastické deformace uvnitř a na povrchu textilie, tzv. ohybová a objemová deformace. Ohybová deformace nastává při průhybu materiálu. Průhyb spodní části materiálu je deformován tahem. Tím vzniká prodloužení dolní části. Vrchní část materiálu se bude naopak zkracovat prostřednictvím tlakové deformace. Střední část bude beze změn a nebude na ni působit žádná deformace. Při deformaci ohybem je podstatný parametr pevnost plošné textilie v ohybu. Pevnost textilie v ohybu je vyjádřena jako reakce proti působení vnějších sil. Vzorec pro výpočet zní takto (2.9):

$$M_o = F \cdot l \quad (2.9)$$

M_o je ohybový moment, F je síla a l je délka ramene.

$$W_o = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (2.10)$$

Vzorec (2.10), kde W_o je modul nosného průřezu v ohybu, b je šířka textilie a h je výška materiálu.

$$\sigma_{Po} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (2.11)$$

Kde σ_{Po} je pevnost v ohybu, jak můžeme vidět z výše uvedeného vzorce (2.11).

Další deformace, která se objevuje při dopadu tělesa na textilií, je změna objemu. Při objemové deformaci se v praxi předpokládá, že objem se při deformaci nemění, tedy zůstává zachován. Vztah (2.12) pro objemovou deformaci (ϵ_v):

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V} = \frac{V - V_0}{V_0}, \quad (2.12)$$

kde V_0 znázorňuje objem tělesa před deformací a V představuje objem tělesa po deformaci.

$$p = -K \frac{\Delta V}{V} = -K \frac{V - V_0}{V_0} \quad (2.13)$$

Opět platí Hookův zákon: vztah (2.13) popisuje objemové napětí (p), které je úměrné objemové deformaci ($\Delta V/V$). Koeficient K je nazýván modul objemové pružnosti. Vztah pro K je uveden níže (2.14).

$$K = \frac{E}{3(1 - 2P)} \quad (2.14)$$

P je Poissonův poměr, který je konstantou a jde o charakteristiku látek. Je vždy kladný a menší než $\frac{1}{2}$. Pokud by nebyl, objemový modul pružnosti by vycházel záporně a to by zapříčinilo, že při zvyšování tlaku by se látka rozpínala.[5]

Následek působení objemové deformace je kompresibilita, tedy stlačitelnost. Je to schopnost určitých látek měnit svůj objem při působení vnějšího tlaku. Kompresní funkce je závislá na čase (t) a na teplotě (T). Kompresibilitu lze vyjádřit prostřednictvím tohoto vztahu (2.15):

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_0 - V_{stlač.}}{V_0} = \frac{(V_{vzduch} - V_{polymer}) - V_{stlač.}}{(V_{vzduch} + V_{polymer})} \quad (2.15)$$

Kde γ je celkové objemové přetvoření, V_0 je objem tělesa před deformací, $V_{stlač.}$ představuje objem stlačení, V_{vzduch} je objem vzduchu a $V_{polymer}$ je objem polymeru.[6]

Jsou-li známy působící mechanismy a deformace, jsou odvoditelné dva principy eliminace úderu, jehož následky jsou nedestruktivní a nebolestivé při ochraně lidského těla.

Z výše uvedeného vyplývá, že mechanismy pohlcení úderu mohou probíhat těmito způsoby.

První způsob: Zachycení energie úderu pevnějším materiálem, než jakým je úder konán. Nezáleží na tloušťce materiálu, nýbrž na pevnosti daného materiálu.

Druhý způsob: Vytvoření dostatečně objemné vrstvy materiálu, která pohltí a rozprostře energii úderu do své struktury (objemu). Zde závisí na tloušťce textílie nebo na počtu vrstev, které jsou na sebe kladeny, aby jejich objem pohltil energii úderu. Tyto dva principy je možno kombinovat pro získání vhodnějších vlastností.

3. Materiálová řešení

Na českém i zahraničním trhu je mnoho společností, zabývajících se produkcí či distribucí pěnových materiálů, které jsou vhodné pro výrobu protiúderových rukavic. Materiály, používané pro vyztužení a pohlcení úderu jsou převážně viskoelastické materiály ze zesíťovaných polyolefinových pěn, jako je polyetylen nebo polypropylen) či polyuretanové pěny a syntetické kaučuky.

3.1. Syntetické kaučuky

Nejčastějšími představiteli syntetických kaučuků jsou polymery a kopolymery izoprenu a butadienu. Nejobvyklejšími plnivy pro tyto představitele jsou saze. Hlavní řetězce obsahují makromolekuly dvojných vazeb, čímž se stávají nenasycené. Pro vulkanizaci se běžně používá síra. V důsledku své nenasycenosti vyžadují přidání přísad antidegradantů, proti vlastní degradaci. To však neplatí v případě etylenpropylenových kaučuků, které mají nasycený hlavní makromolekulární řetězec, jsou tedy nasycené. Kopolymery etylenu s propylenem (EPM) neobsahují žádné dvojně vazby, kdežto terpolymery etylenu, propyleny a nekonjugovaného dienu (EPDM), obsahují jen v postranních řetězcích.

Vulkanizace pryskyřicí především pro butylkaučuk a vulkanizace dialkylperoxydů hlavně pro EPM a částečně i pro EPDM poskytuje pryžím větší odolnost proti vyšším teplotám.

Kaučuky, pro svůj téměř nepolární charakter, se rozpouštějí v alifatických a aromatických uhlovodících (například benzenu, toluenu a v benzínu) a chlorovaných rozpouštědlech (například tetrachlormetanu nebo trichloretylenu). Prostřednictvím těchto rozpouštědel vulkanizáty bobtnají, můžou však bobtnat i v olejích a proto takto vyrobené kaučuky nesmějí přicházet do styku s oleji a výše uvedenými rozpouštědly. Oleje jsou však i dobrými změkčovadly kaučuků.[8]

3.1.1. Etylenpropylenové kaučuky

Produkují se roztokovou kopolymerací za přítomnosti Zieglerových – Nattových katalyzátorů. [7]

Do této skupiny patří etylen – propylen – dienový terpolymer (EPDM) EPDM je terpolymer, který obsahuje malé množství nekonjugovaných dienu (3 až 5%). Jako nekonjugovaný dien se nejčastěji používá cyklopentadien nebo 1,4-hexadien, ty

obsahují dvojné vazby pouze na postraních substituentech, takže hlavní řetězec makromolekul zůstává nasycený. Polymerace probíhá na dvojné vazbě v napjatém cyklu. Dvojné vazby do řetězce vnášejí dieny, které umožňují vulkanizaci sírou a urychlovači. Vzniklé kaučuky mají vynikající stabilitu proti stárnutí, chemikáliím a dobré mechanické vlastnosti. [8]

3.1.2. Chloroprenový kaučuk – Neopren (CR)

Polychloropren, jinak označován jako Neopren, je jeden s prvních syntetických kaučuků na trhu, který svými vlastnostmi překonal přírodní kaučuk. Díky vysoké elasticitě, nízké hořlavosti a disponující velmi dobrou odolností vůči povětrnostnímu stárnutí zaujímá polychloropren významné postavení mezi syntetickými kaučuky. Dříve se pro výrobu polychloroprenu využívala bloková polymerace. V současnosti se vyrábí pouze emulzní polymerací. Dle způsobu regulace molekulové hmotnosti lze rozdělit polychloropren na dva základní typy:

- Typ G, polychloropren modifikovaný sírou a tetrametylthiuramdisulfidem
- Typ W, polychloropren modifikovaný thioley [8]

Chloropren (CR) je monomer, který polymeruje již při běžné teplotě a bez přidání inhibitorů, dochází k samovolné polymeraci. Pro chloropren je nejčastěji využíván inhibitor fenothiazin ve směsi s p-terc.butylpyrokatecholem a dusitany. Po polymeraci následuje odplynění, regenerace nezreagovaného monomeru, koagulace kaučuku, izolace kaučuku, praní a sušení. Polymery, které jsou připravovány při teplotě 40°C mají nižší krystalinitu a vyšší elasticitu. Vzniká chloroprenový, kaučukový, hrubý granulát.[8]

Proces výroby dále pokračuje vulkanizací, při čemž vzniká řídké zesíťování, které zabraňuje neomezenému pohybu celých makromolekul vůči sobě. Vulkanizovaný kaučuk vzniká působením různých vulkanizačních činidel. Prostřednictvím vulkanizace se mění vlastnosti kaučuku, zlepšují se mechanické vlastnosti jako je tvrdost, pružnost a snižuje se tažnost a trvalá deformace. Existují stupně vulkanizace, podle nichž se pryž dělí na měkké, polotvrdé a tvrdé. [8]

Chloroprenové kaučuky, jak typu G i W nepotřebují nezbytně k vulkanizaci síru, přestože mají stejný nenasycený makromolekulární řetězec jako přírodní kaučuk, ten je pomocí síry vulkanizovatelný. Nejběžnějším vulkanizačním činidlem je však

kombinace oxidů zinečnatého a hořečnatého. Při vulkanizační reakci se odštěpuje atom chloru, na jehož místě se vytváří etherická příčná vazba. [8]

3.1.3. Vulkanizační činidla kaučuků

Teoreticky mezi vulkanizační činidla patří všechny látky, které mají schopnost tvořit chemickou reakcí mezi řetězci kaučukového uhlovodíku příčné vazby. V praxi se osvědčily pouze některé. I když při vytvoření nových syntetických kaučuků se objevila i nová vulkanizační činidla, síra zůstává stále mezi nejpoužívanějšími vulkanizačními činidly. [8]

Vulkanizační činidlo síry slouží pro vulkanizaci mnoha nenasycených kaučuků, jako je například přírodní kaučuk a některé další syntetické kaučuky. Jako doplněk sirného vulkanizačního činidla se používají selen a telur. Jako náhradu síry, je možné použít organické disulfidy a polysulfidy, tzv. donory síry, které mají podobný účinek jako síra. [8]

Syntetické kaučuky, které nelze vulkanizovat pomocí síry, se vulkanizují prostřednictvím peroxidů, ty jsou schopny vulkanizovat nenasycené či nasycené kaučuky. Nasycené kaučuky nelze vulkanizovat pomocí síry. K vulkanizaci nasycených kaučuků se používají peroxidy převážně dikumylperoxid a 2,5-dimetyl -2,5-diterc.butyperoxyhexan. Pro etylenpropylenové kaučuky se používá zejména dibenzoylperoxid nebo 2,4-dichlordibenzoylperoxid. [8]

3.1.4. Plastikace kaučuků

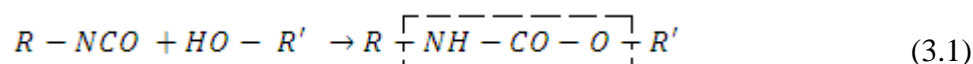
Pod pojmem plastikace rozumíme kaučuk ve stavu, ze kterého lze připravit kaučukové směsi. Do vulkanizační směsi se také dodává tzv. plnivo. Nejčastěji používané plnivo jsou aktivní saze. Aktivní saze jsou přidávány do vulkanizační směsi z důvodu zlepšení pevnosti v přetruhu a odolnosti vůči oděru. Další složky vulkanizační směsi jsou pigmenty, změkčovadla a prostředky proti stárnutí.[8]

Kaučuk s vulkanizační směsí se důkladně promísí na válcových strojích za intenzivního chlazení, protože při použití hnětacích strojů lze dosahovat i teplot nad 140°C. Na závěr mísení nebo při dalším směšování se do směsi dodá vulkanizační činidlo a urychlovač vulkanizace. Pak se směsí zpracovávají do požadovaného tvaru kalandrováním, vytlačěním nebo lisováním. Konečnou operací je samotná vulkanizace při teplotě 140 až 160°C. Při tepelné vulkanizaci vzniká řídké zesítnění a hmota se přemění z plastického

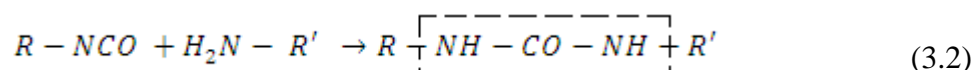
tvaru na tvar elasticky stálého kaučuku. Po výsledné vulkanizaci materiál dozrává cca 14 dní, než je připraven na rozřezání na pláty o požadované tloušťce. [8]

3.2. Polyuretany

Polyuretany patří do skupiny polymerů, které vznikají reakcí vícefunkčních izokyanátů s polyalkoholy. Uretany či estery kyseliny karbamové vznikají prostřednictvím reakcí isokyanátů s alkoholem (3.1).



Tato klíčová reakce je mnohdy doprovázena druhotnou reakcí, při které vzniká odlišná uretanová strukturní jednotka. Je to dáno možností isokyanátů reagovat s mnoha dalšími sloučeninami, které obsahují aktivní vodíkové atomy. Touto reakcí isokyanátů s aminy vznikají substituované močoviny (3.2).



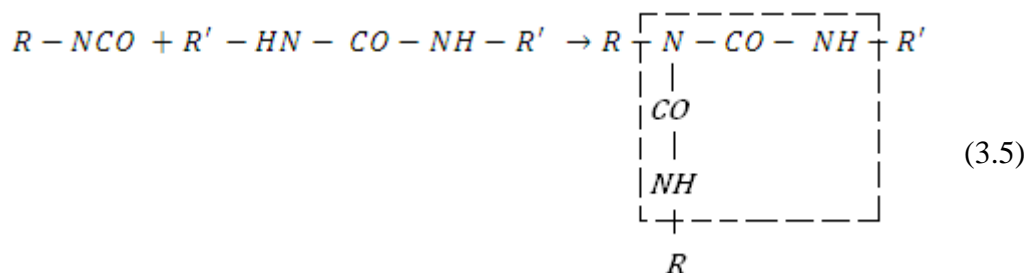
Při reakci s vodou vznikají amidy, přičemž se uvolňuje oxid uhličitý (3.3):



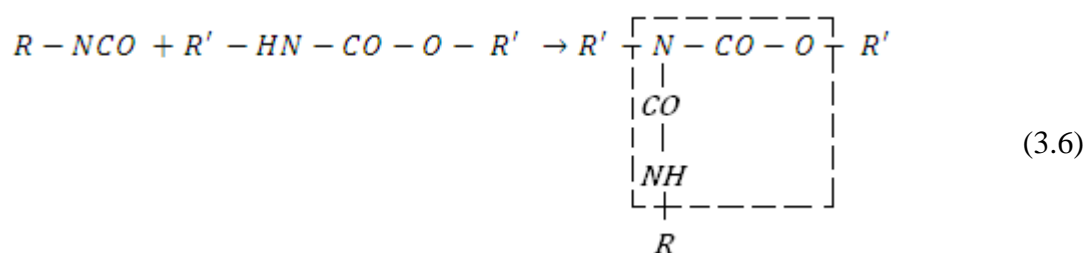
Za vzniku substituované močoviny vzniklý amin reaguje s další molekulou izokyanátu. Při reakci isokyanátů s karboxylovými kyselinami vznikají substituované amidy a oxid uhličitý (3.4):



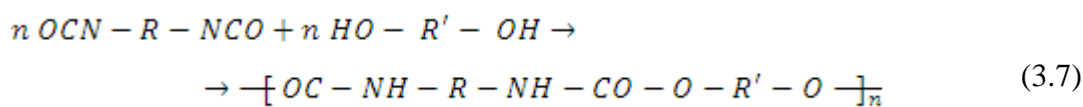
Isokyanát za určitých předpokladů může reagovat se substituovanou močovinou za vytvoření N – substituovaného biuretu (3.5):



S určitou podobností může reagovat isokyanát s vodíkem uretanové skupiny za vytvoření N – substituovaných esterů kyseliny allofanové (3.6):



Sloučeniny s aktivním vodíkem lze seřadit do posloupné řady podle klesající reaktivnosti s isokyanáty: alifatické aminy > aromatické aminy > alifatické substituované močoviny > primární alkoholy > sekundární alkoholy > voda > fenoly > aromatické substituované močoviny. V praxi je důležité, že reakce isokyanátů s polyhydroxysloučeninami musí být vykonávána ve zcela bezvodném prostředí, protože jinak dochází k odštěpování oxidu uhličitého a ke vzniku močovinových vazeb. Tudíž při přípravě polyurethanů je nutné vycházet z di – nebo polyisokyanátů a polyhydroxysloučenin. Prostřednictvím diisokyanátu a diolu vzniká lineární polyuretan (3.7):



[7,8]

Při výrobě lehčených hmot se používají polyuretany, jež vznikají reakcemi diisokyanátů s polyhydroxysloučeninami (polyetylen či polyester) a vodou. Při reakci diisokyanátů s hydroxylovými skupinami se vytvářejí polyuretanové vazby. Reakcí isokyanátových skupin s vodou se odštěpuje oxid uhličitý, který v tomto případě účinkuje jako nadouvadlo. Touto reakcí ihned vznikají aminy, které reagují s přítomnými isokyanátovými skupinami za vzniku močovinových seskupení. V zesít'ované polyuretanové pění se nacházejí jak uretanové struktury, tak i močovinové a biuretanové.[7, 8]

K přípravě měkkých pěn se používají složky hydroxyly lineárního nebo mírně rozvětveného polyesterové kyseliny adipové a diethylenglykolu, polyethery vzniklé polymerací jsou např. propylenoxidu, etylenoxidu anebo tetrahydrofuranu. Polyetherové lehčené hmoty jsou pružnější a stálejší vůči hydrolýze než polyesterové, nicméně snadněji podléhají oxidaci. Je nutné, aby při přípravě měkkých pěn byly vytvořeny mezi uzly polymerní sítě dlouhé a elastické řetězce. Z tohoto důvodu by neměl isokyanátový

podíl hmotnosti překročit 40%. Polyetherové nebo polyesterové složky mají nízké hydroxilové číslo (40 až 60 KOH na 1 g). [7, 8]

Tvrdé pěny se převážně připravují se zvýšeným množstvím isokyanátových složek až 70% z celkové hmotnosti. Proto použitá hydroxylová složka je rozvětvenější a má i vyšší hydroxylové číslo (300 až 600 mg KOH 1g). Místo isokyanátové složky se z velké části používá technický difenylmethandiisokyanát. Používaný spíše jako směs izomerů pro měkké pěny. Tento způsob je vhodný pro výrobu polyuretanových lehčených hmot. Je využito probíhající reakce izokyanátových skupin s vodou či organických kyselin za vzniku oxidu uhličitého. [7, 8]

Pro výrobu měkkých polyuretanových pěn se používá například 1,6-hexametylendiizokyanát. K výrobě tvrdých polyuretanových pěn se používá toluen-2,4-diizokyanát nebo toluen-2,6-diizokyanát, tzv. Desmodur. [7, 8]

Další využívanou složkou je Desmophen, jsou to přestavitelé nízkomolekulárních polyesterů získávané reakcí dikarboxylových kyselin s vícesytnými alkoholy. Prostřednictvím použitého poměrného množství polyesterů a diizokyanátů je možné měnit vlastnosti polyuretanových pěn v oblasti pružnosti, od pružných po nepružné. [7, 8]

V procesu výroby polyuretanových pěn je důležitý přídavek vody. Reakce vody s izokyanátovými skupinami vytvoří oxid uhličitý, který napění polyuretan, pak následuje ztuhnutí reakční pěny. [7, 8]

Další důležitou reakční složkou jsou katalyzátory, použitým druhem a množstvím se reguluje rychlost napěnění polyuretanové hmoty, tak aby napěňování probíhalo v souladu s vytvrzováním. Jako urychlovače se nejčastěji používají amin, například triethylamin. Přidáním práškového či vláknitého anorganického plniva můžeme zvýšit pevnost polyuretanové pěny. Práškové anorganické plniva také podporují pravidelnou tvorbu pór ve struktuře polyuretanu. [7, 8]

3.3. Polyolefiny

Polyolefiny tvoří největší skupinu syntetických polymerů, což je zapříčiněno snadnou dostupností surovin a celkem levnou výrobou. Dalšímu rozšíření přispívá fakt, že jsou dobře zpracovatelné téměř všemi dostupnými technologiemi a disponují velkou škálou využitelných vlastností. Nejvýznamnějšími polyolefiny jsou zejména lineární i rozvětvené typy polyethylenu a polypropylenu.

Mezi běžné zpracovatelské postupy polyolefinů patří převážně lisování, vytlačování a vstřikování. Vstřikování se preferuje především pro lehčené hmoty. [7, 8]

3.3.1. Polyetylen (PE)

Polyetylen se vyznačuje různými vlastnostmi a tím i rozličnými technologickými postupy. Rozdíly mezi polyetyleny se nejvíce projevují v hustotě polymeru. Polyetylen se obvykle dělí do čtyř skupin na nízko hustotní polyetylen (low density polyethylene, LDPE) s hustotním rozmezím od $0,915 \text{ g.cm}^{-3}$ do $0,925 \text{ g.cm}^{-3}$, středně hustotní polyetylen (medium density polyethylene, MDPE), který má hustotní rozmezí od $0,925 \text{ g.cm}^{-3}$ do $0,940 \text{ g.cm}^{-3}$, vysoko hustotní polyetylen (high density polyethylene, HDPE), který má hustotní rozmezí od $0,950 \text{ g.cm}^{-3}$ do $0,960 \text{ g.cm}^{-3}$ a lineární polyetylen o nízké hustotě (linear low density polyethylene, LLDPE), který má hustotní rozmezí od $0,915 \text{ g.cm}^{-3}$ do $0,930 \text{ g.cm}^{-3}$. [7]

Pevnost a teplota tání polyetylenů klesá se stoupajícím makromolekulárním větvením. Slabě rozvětvený lineární polyetylen se připravuje pomocí polyinzerce na katalyzátorech z přechodových kovů. V dnešní době se používají dva základní typy katalyzátorů Zieglerovy nebo Phillipsovy. Při polymeraci etylenů se Zieglerovými katalyzátory chápeme katalyzátor jako kombinace alkylků 1. až 3. skupiny periodického systému se sloučeninami přechodných kovů 4. až 8. skupiny. V praxi se především používá například triethylaluminium nebo diethylaluminiumchlorid v kombinaci s TiCl_3 . Polymerace etylenů se Zieglerovými heterogenními katalyzátory v uhlovodíkovém prostředí umožňuje použít normální tlak a teplotu, při vysoké výrobní rychlosti a ve vysoké konverzi. [7]

V současnosti jsou používány tři základní technologické postupy výroby polyetylenů o vysoké hustotě, a to v suspenzní, roztokové a v plynné fázi.

Suspenzní postup výroby polyetylenů je polymerace srážením. V prostředí rozpouštědel probíhá polymerace, ve které je monomer rozpustný a polymer nerozpustný. Proces výroby je tvořen při teplotách pod 100°C za míchání, chlazení a tlaku do 4 MPa. Polymerační proces je složen z několika fází. První fází je čištění monomeru a rozpouštědel, následuje příprava katalyzátoru, polymerace, čištění polymeru a jeho zpracování. [7]

3.3.2. Polypropylen (PP)

Polypropylen se obvykle dělí na nízkomolekulární a vysokomolekulární polymer. Vysokomolekulární polypropylen s pravidelnou strukturou, vzniká prostřednictvím některých Zieglerových katalyzátorů, které jsou schopny polymerovat propylen. Takový polymer má vysoký bod tání a dobré mechanické vlastnosti.

Pomocí radikálové či kationové polymerace získáme jen nízkomolekulární polypropylen, který se skládá s rozvětvených ataktických molekul. Různé vlastnosti polypropylenů se odvíjejí od prostorového uspořádání substituentů.

Stereochemická struktura polypropylenů je vytvořena atomy řetězce ležící v rovině proložené základním řetězcem, který můžeme znázornit prostřednictvím planární formy trans. Izotaktický polypropylen má všechny metylskupiny na jedné straně dané roviny, zatímco syndiotaktický polypropylen má tyto skupiny střídavě rozloženy nad a pod rovinou. Ataktický polypropylen je takový, který má statickou distribuci konfigurací. [7]

Polypropylen má velmi podobné užité vlastnosti jako polyetylen. Polypropylenové vlastnosti jsou odvozené od izotakticity, molekulové hmotnosti a stupni polydisperzity. Polypropylen je krystalický polymer a vzhledem ke své krystalinitě je polypropylen neprůhledný, jeho stupeň krystalinity se pohybuje od 60 do 75%. Polypropylen má nižší rázovou houževnatost, ale vyšší tvrdost a pevnost v ohybu než polyetylen o vysoké hustotě. Snížením stupně krystalinity docílíme zvýšení houževnatosti, transparency a flexibility polypropylenů. [7]

Produkce stereospecifického polypropylenů je téměř shodná s výrobou polyetylenů Zieglerovým postupem. Proces výroby rovněž probíhá pomocí polyinzerce. Hlavní rozdíl při výrobě polypropylenů spočívá v polymeraci propylenů, při kterém vzniká vždy určité množství ataktického podílu. Jelikož ataktické podíly jsou měkké, parafínové až kašovitého charakteru, proto je žádoucí co nejvíce omezit množství ataktického podílu. Ataktický podíl z části určuje vlastnosti polypropylenů, jako je teplota tání, kterou snižuje nebo narušuje mechanickou pevnost, odolnost vůči rozpouštědlům, ale na druhou stranu zlepšuje rázovou houževnatost. V praxi se ataktický podíl odbourává extrakcí polymeru alifatickými uhlovodíky (kapalným propanem pod tlakem nebo hexanem). [7]

3.4. Přísady do polymerů ovlivňující fyzikální vlastnosti

Jelikož požadavky, které jsou kladeny na polymery, jsou natolik různorodé, že není možné používat pouze čistých polymerů. Proto je nutné přidat do polymerů, takové přísady, které budou odrážet chtěné výsledné fyzikální vlastnosti polymerů. Přidání přísad do polymerů se vytvoří tzv. polymerní směs.

Zpracovatelskými přísadami rozumíme přísady, ulehčují či dokonce umožňují přípravu a zpracování polymerních směsí. I tyto přísady více či méně ovlivňují fyzikální vlastnosti polymerních směsí, výrobků a jejich zpracovatelnost. Mezi zpracovatelské přísady patří například plastikační činidla, maziva, separační činidla, pomocné zpracovatelské prostředky změkčovadla a tepelné stabilizátory. Další větší skupinou zpracovatelských přísad jsou antidegradanty (např. světelné stabilizátory, antioxidanty a antiozonanty), síťovací prostředky (např. síťovací činidla, aktivátory síťování nebo urychlovače síťování), přísady ovlivňující další fyzikální vlastnosti (např. plniva, vyztužovadla, nadouvadla, pigmenty a opticky zjasňující látky) a zvláštní přísady (např. antistatické prostředky, faktisy, adhezni prostředky, atd. [8])

3.5. Zpracování polymerů na lehčené hmoty

Lehčené hmoty jsou materiály, které se vyznačují spojením lehkosti a pevnosti, obsahující dutinky nebo-li póry různých velikostí a tvarů. Vytvořené póry snižují hustotu nelehčeného materiálu.[8]

Lehčené polymery se vyrábějí především z homopolymerů a kopolymerů styrenu, přírodních a syntetických kaučuků, polyuretanů, fenoplastů a aminoplastů, polyolefinů a polyvinylchloridů, které mají výhodu oproti ostatním lehčeným polymerům a to nízkou hřejivost. [8]

Způsob výroby lehčených polymerních hmot jsou různé, například vymýváním rozpustného plniva, odpařením těkavého plniva, vmícháním dutých plniv, spékáním plných nebo pórovitých granulí, speciálními polymeračními technikami nebo nejčastějším způsobem napěňováním.[8]

Napěňování lehčených polymerů má tři fáze: vznik dutinek (pórů), růst a ustálení. Ke vzniku pórovité buněčné struktury dochází buď mechanickou cestou, vypařováním nízkovroucích kapalin nebo plynou chemickou reakcí jednotlivých složek polymerních směsí či tepelným, katalytickým, radiačním rozkladem nadouvadla.

Ustálení pórovité buněčné struktury je možné buď ochlazením polymeru pod teplotu jeho tání, zesklnění nebo sesíťováním resp. vulkanizací. Tento proces musí

probíhat za stálého dohledu, aby k ustálení nedocházelo příliš brzy nebo naopak příliš pozdě. [8]

Aby s polymerů vznikly lehčené pěny, musíme do procesu výroby zahrnout nadouvadla. Existují dva způsoby napěňování fyzikální a chemické.

Fyzikální princip spočívá v přidání plynných složek, například iso-butanu nebo pentanu, které způsobí vznik buněčné struktury.

Druhý způsob spočívá v přidání nadouvadla, které při chemické reakci s polymerem odštěpí a vytvoří např. oxid uhličitý, který zapříčiní podobně jako v předchozím případě vznik buněčné struktury. Příkladem nadouvací sloučeniny, kterou můžeme použít jako nadouvadlo je např. Azodikarboxamid (Azodicar bonamide). [8]

3.5.1. Nadouvadla

Nadouvadla patří do skupiny přísad ovlivňující fyzikální vlastnosti polymerů. Jedním ze způsobů jak zpracovat polymery na lehčené hmoty je přidáním nadouvadla do polymerní směsi. Nadouvací přísada, které se při teplotě tváření polymerní směsi rozkládá za vzniku plynu, jenž pak vytvoří otevřené či uzavřené póry ve struktuře polymeru. Nejběžnější rozkládací plynná složka je oxid uhličitý nebo dusík.

V dnešní době se nejčastěji používají k výrobě lehčených hmot převážně organická nadouvadla, které jsou rozpustné v polymerních směsích a dokážou vytvořit jemnější póry, než anorganická nadouvadla, která se samovolně rozkládají při skladování. [8]

Nejčastěji používaným nadouvadlem pro pryžové produkty u nás je N,N'-dinitrosopentametylentetramin. Pro termoplasty se nejčastěji využívají nadouvadla azobisformamid (azodikarbonamid) a benzensulfonylhydrazid. [8]

3.5.2. Napěňování mechanicky

Mechanicky se napěňují plastisoly polyvinylchloridu nebo kaučukové latexy. K vytvoření jemných pórů je nutné stabilizovat polymerní směs pěnotvornými činidly, které jsou na bázi povrchově aktivních látek typu mýdel. Při stabilizaci vzniklého plynu, dochází k vytvoření tenkostěnného obalu, plyn se posléze rozloží. Napěňované plastisoly polyvinylchloridu se dále želatinují a kaučukové latexy vulkanizují. [8]

3.5.3. Napěňování plyny a nízkovroucími kapalinami

Tento zpracovatelský proces je používán především pro výrobu lehčeného polystyrenu, polyetylenu, polyvinylchloridu a fenoplastů.[8]

Lehčený polystyren se vyrábí polymerací styrenu suspenzním způsobem, za přítomnosti těkavých alifatických uhlovodíků. Tím se získá polystyrenový granulát, který je zakalen rozptýleným uhlovodíkem a následně vložen do formy, kde je dopěňován teplem z vodní páry. [8]

K výrobě lehčeného polyvinylchloridu se používá sycení inertním plynem, například vzduchem, oxidem uhličitým, dusíkem či směsí plynů. [8]

Pro výrobu lehčeného polyetylenu se používá, čím dál častěji sycení taveniny butadienem. [8]

3.5.4. Lehčení zplodinami chemické reakce složek polymerní směsi

Způsob lehčení zplodinami je typický pro výrobu polyuretanových lehčených hmot, které jsou popsány v kapitole 4.2.1 Způsob výroby polyuretanové lehčené pěny. Pro tento způsob výroby se používá reakce izokyanátových skupin s vodou či organickými kyselinami za vývoje oxidu uhličitého.[8]

3.5.5. Lehčení pomocí nadouvadla

Princip lehčení polymerů nadouvadly je postaven na stejné bázi jako princip lehčení plyny, rozdíl je v tom, že nadouvadlo disperguje při hnětení v polymeru jako jiné další práškové přísady. Za zvýšené teploty se nadouvadlo v polymeru rozkládá a vzniká plyn, který tvoří póry v polymerní struktuře. Nadouvadla jsou používány k napěňování termoplastu a kaučukových směsí.

Strukturu lehčených polymerů můžeme ovlivnit typem použitého nadouvadla, viskozitou polymerní směsi v teplotním rozmezí odpovídající rozkladu nadouvadla, teplotou a dobou nadouvání. [8]

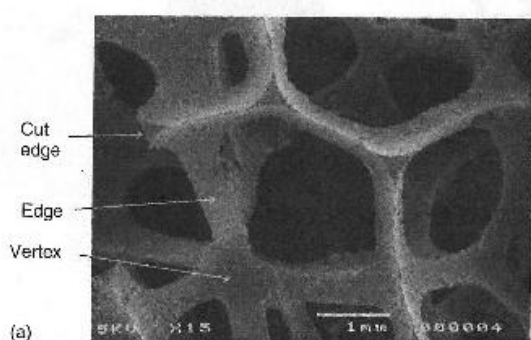
3.6. Otevřená a uzavřená buněčná struktura polymerních pěn

Polymerní pěny můžeme rozdělit vzhledem k jejich buněčné na otevřené či uzavřené.

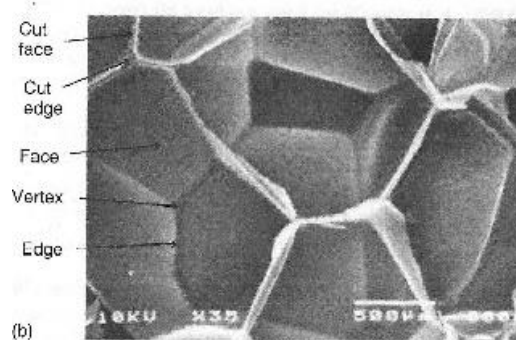
Otevřená buněčná struktura vytváří mezi buňkami pěny mikroskopické kanálky či otvory, které umožňují volnou cirkulaci vzduchu mezi těmito buňkami, jsou tedy vytvořeny tzv. souvislé kanálky v celém objemu pěny. Respektive, jak je patrné

z fotografie z rastrovacího elektronového mikroskopu (3.1). Vzduch tedy může volně procházet buněčnou strukturou pěny. Tím se pěna s otevřenou buněčnou strukturou stává měkčí a lehčí.

Pěny s uzavřenými póry, pěnové termoplasty, jsou takové pěny, kde jsou buňky spojeny mezi sebou buněčnou stěnou. Uvnitř buňky zůstává plyn. Soudržnost těchto buněčných stěn můžeme vidět na obrázku (3.2). Pěny s uzavřenou buněčnou strukturou tedy mají různou stupnici tvrdosti, podle její houževnatosti a mohou odolávat vyšším tlakům, nežli otevřené pěny.[8, 9, 10]



Obr. 3.1: Otevřená buněčná struktura polyuretanové pěny



Obr. 3.2: Uzavřená buněčná struktura polyuretanové pěny

Zdroj: Polymer foams handbook: engineering and biomechanics applications and design guide.

3.7. Zpracování polymerů v plastickém stavu

K tváření se používají elastomery, termoplasty a reaktoplasty. Výhodou termoplastů je, že při jejich zahřátí nedochází k žádné chemické reakci, která ovlivňuje hustotu taveniny. Proto jsou schopny se udržet v plastickém stavu déle než reaktoplasty nebo kaučukové směsi. Reaktoplasty i kaučukové směsi naopak během tvářicího procesu zesílují a tím ztrácejí termoplasticitu.

Teplota tváření polymerních směsí se pohybuje nad jejich teplotami toku, které jsou v určitých případech zcela odlišné vzhledem k charakteru makromolekulární látky. Například u polyethylenu se může taková tvářicí teplota pohybovat kolem 120°C až do 200°C, u polyamidů zase od 200°C do 260°C a u reaktoplastů či kaučukových směsí se teplotní škála pohybuje většinou kolem 140°C až do 180°C. I když vytvrzovací proces

reaktoplastů a vulkanizaci kaučuků může probíhat za běžné teploty za použití vhodných přísad a síťovacích činidel. [8]

3.7.1. Lisování

Lisováním se polymery tváří při vyšších teplotách a tlacích, přičemž daný tvar materiálu dodává forma. Lisování se rozděluje podle použitého tlaku na vysokotlaké a nízkotlaké. Za vysokotlaké se považuje lisování při tlacích nad 3 MPa. [8]

Vysokotlaké lisování se dále rozděluje na lisování přímé, lisování nepřímé a na lisování rázové. [8]

Přímé lisování vysokým tlakem se provádí na pístových hydraulických lisech. Přímé lisování se využívá ke zpracování reaktoplastů, kaučukových směsí a termoplastů v tzv. etážových lisech na desky z vrstvených hmot, desky ze sypkých polymerních směsí a také na lehčené desky z polyuretanu, polystyrenu, atd. [8]

Nepřímé lisování tzv. přetlačované lisování je využíváno pro zpracování reaktoplastů a kaučukových směsí. Do uzavřené formy, vtéká polymerní směs ohřátá na správnou teplotu značnou rychlostí. U hydraulického přetlačovaného lisu je důležitý nejen tlak, ale i rychlost zdvihu. [8]

Lisování rázem je přechod mezi přímým a nepřímým lisováním. Je vhodné pro lisování termoplastů. Lisování rázem se odlišuje velkými tvářecími rychlostmi a chladnými formami. [8]

Nízkotlaké lisování se používá ke zpracování reaktoplastů a nejvíce k výrobě vyztužených polyesterů. Nízkotlaké lisování se rozděluje na lis s pevnou formou, lisování pomocí pružných dílů a lisování pomocí pružných vaků. [8]

3.7.2. Válcování

Válcování neboli kalandrování je způsob, který se používá k produkci fólií, desek a k nanášení polymerů na textilní podložky z termoplastů či kaučukových směsí. [8]

Princip válcování je založen na první šterbině mezi prvními dvěma válci, které jsou zásobovány páskem polymerní hmoty z kontinuálního hnětače nebo z míchacího dvouválce. [8]

Podle potřeb zpracování se využívají kalandry s určitým počtem válců. Nejčastěji se používají kalandry dvouválcové, tříválcové, čtyřválcové a pětiválcové.

Nejrozšířenější kalandr je čtyřválcový, který může být sestaven do tvaru typu I, L, F, a Z. U pětiválcového kalandru navíc může být vytvořen typ C. [8]

3.7.3. Vytlačování

Vytlačování je nepřetržitý proces tváření, při kterém je polymerní hmota vytlačována z komory, neboli hubicí pod tlakem. Polymerní hmota, je z hubice vytlačována do volného prostoru. Způsobem vytlačováním se tváří především termoplasty a kaučukové směsi. [8]

Vytlačovací proces termoplastů a kaučukových směsí se provádí na šnekových vytlačovacích strojích. Stroje mohou být jedno nebo dvou šnekové. Na jednošnekových vytlačovacích strojích se zpracovávají termoplasty a kaučukové směsi ve formě granulátu, aglomerátu, pelet nebo pásků. Pro práškové zpracování se spíše využívá dvoušnekový stroj. [8]

Princip vytlačování šnekovým strojem je rozčleněn do tří zón. V plnicí zóně je polymerní hmota zachycována a dále dopravována k hlavě vytlačovacího stroje, za současného stlačování. V přechodové (kompresní) zóně se plastikuje a stále se stlačuje. V Poslední dávkovací zóně je homogenní polymer v plastickém stavu uváděn neustále pod tlakem do tvářicí hlavy. [8]

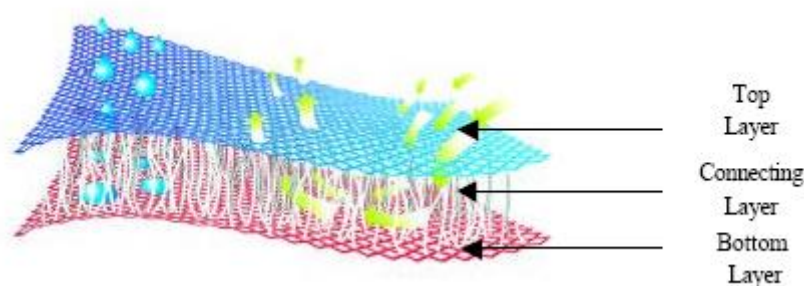
3.7.4. Vstřikování

Vstřikování je velmi podobné technologický procesu přetlačování. U vstřikování nehovoříme o předehtívání, ale o tavné komoře, která je oddělena od tvářicí formy, což má rozhodující vliv na vstřikování termoplastů, kdy forma musí být chlazená. Vstřikování se v první řadě uplatňuje na způsob zpracování termoplastů, ale stále více se uplatňuje při zpracování kaučukových směsí. Vstřikovací proces je v současné době velmi oblíbeným způsobem zpracování tavenin, které mohou ve formě ztuhnout či v ní vypěnit. Tento proces je ekonomicky produktivní, kvalitní, přesný, rychlý a lze jej zautomatizovat. [8]

Vstřikovací stroj je rozčleněn na tavnou, vstřikovací, uzavírací jednotku a formu. Princip vstřikování je založen na vstřikování polymerní hmoty do formy, která je chlazená při zpracování termoplastu a vyhřívána při zpracování kaučukových směsí. Forma je vstřikem naplněna polymerní hmotou, která v ní zvulkanizuje nebo ztuhne a poté se otevře, výstřik se vyjme a cyklus se může opakovat. [8]

3.8. Distanční pleteniny

Distanční pleteniny 3.3 vynikají svou neobyčejnou stlačitelností, pružností a nízkou hmotností vůči objemu. Distanční pleteniny se vyrábějí v různých tloušťkách a s více či méně uzavřenou strukturou. Jelikož jejich struktura je vysoce prodyšná je anti-alergická a zamezuje růstu plísní. Je vysoce tvarovatelná a tudíž dobře zpracovatelná. Její využití můžeme naléznout například v automobilovém průmyslu, zdravotnictví, při výrobě matrací, sportovní obuvi, atd.[11,12]



Obr. 3.3: Distanční pletenina

Zdroj: Dokument: *Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications.* Dostupné z: <http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume4issue4/Articles/Bruer/Bruer_full_149_05.pdf>

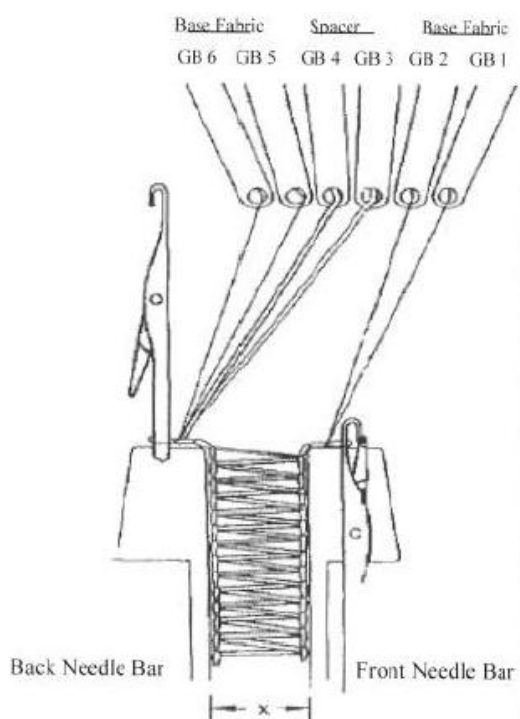
3.8.1. Výroba distanční pleteniny na osnovních pletacích strojích

Distanční pleteniny vznikají spojením dvou osnovních oboulícnicích pletenin, které jsou příčně spojeny distančním monofilem. Tyto pleteniny jsou tvořeny na osnovních dvoulůžkových strojích. Osnovní stroje dále dělíme na rašlové a stávkové.

Výroba distanční pleteniny na osnovních dvoulůžkových stávkách (SIMPLEX) se koná pomocí dvou plochých lůžek střechovitě uložených. Lůžka pracují nezávisle na sobě. Platiny a listy jsou ovládány nezávisle na sobě, ale pohybují se současně. Kdežto kladecí přístroj, odtah a osnova jsou ovládány společně. Pro vytvoření jednoho oboulícnicího řádku se kladecí přístroj vykývá šestkrát. Pletenina vzniká postupně. Nejprve se vytvoří řádek na předním lůžku a poté na druhém lůžku. Jsou čtyři fáze tvoření řádků na dvoulůžkovém stávku. Za prvé kladení. Kdy jehla stoupá nahoru a kladecí přístroj naklade nit. Za druhé se provádí uzavírání. Jehla jde do nejvyšší polohy a pak klesá, přitom se pohybují listy a platiny. Třetí úkon je lisování a nanášení,

při kterém se vysunou platiny s listy. Zatím co jehla klesá, zamáčkne se háček na jehle a platina nanese očko na jehlu. Při posledním čtvrtém úkonu je prováděn odhoz a zatahování. Kdy jehla po odhozu stále klesá a zatahuje očko. Jehla protilehlého lůžka se zvedá nahoru a cyklus se může znovu opakovat.

Dále se výroba distanční pleteniny může provádět na osnovním dvoulůžkovým rašlovým stroji, obr 3.4. Pletenina se vyrábí také prostřednictvím dvou plochých lůžek, která jsou střechovitě uloženy. Lůžka pracují nezávisle na sobě a v činnosti se střídají. Zhotovení řádku na dvoulůžkovém rašlu má pět fází. Jsou to fáze uzavírací, klesací, nanášecí, odhazovací a zatahovací.[11,12]



Obr. 3.4.: Schéma ústrojí rašlového pletacího stroje

Zdroj: Dokument: *Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications.*]. Dostupné z: <http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume4issue4/Articles/Bruer/Bruer_full_149_05.pdf>

Výhoda rašlových strojů je především ve schopnosti měnit vzdálenost lůžek, tak aby vznikaly objemné textilie. Odstup lůžek může být až 65mm. Vysoká výkonnost a rychlost při práci. Vysoká variabilita při vzorování.[11,12]

4. Experimentální část

Experimentální část se zabývá možností výběru běžně stanovitelných vlastností, jako jsou pevnost v tahu a stlačitelnost, na základě kterých by bylo možno stanovit odolnost vůči úderu, aniž by bylo nutno provádět zkoušku pomocí padostroje. Na základě provedených zkoušek je navržena nová výkonnější skladba materiálů protiúderových rukavic, které lépe odolávají úderu.

Dále jsou zde popsány použité materiály, nastínění postupů jednotlivých zkoušek a uvedeny a vyhodnoceny získaná data.

4.1. Hypotéza

Lze předpokládat, že některé mechanické vlastnosti úzce souvisejí s odolností materiálu vůči úderu, bez ohledu na to, zda jsou stanoveny při statickém, či dynamickém zatěžování. Vybrané mechanické vlastnosti, které jsou snadno získatelné přímým měřením či z technických listů materiálu, budou porovnány s výsledky odolnosti materiálu vůči úderu a statisticky bude vyhodnocena vzájemná závislost. V případě potvrzení hypotézy tedy nebude nutné provádět zkoušku pomocí padostroje, ale bude možné nalézt vhodný materiál, jen na základě vybraných mechanických vlastností.

4.2. Popis zkušebních vzorků a jejich značení

Pro zátěžové zkoušky pevnosti, tažnosti, stlačitelnosti a úderu byly použity polymerní materiály s různými parametry. Vlastnosti zkušebních vzorků jsou uvedeny v tab. 4.1. U vzorků B, C a F i přes teplotní analýzu, nebylo možné jednoznačně určit jejich složení.

Popis materiálů					
Index	Označení	Složení	Tloušťka [mm]	Plošná hmotnost [g/m ²]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
1	Vzorek A	Polyuretan	5	180	36
2	Vzorek B	Neznámé	2	420	210
3	Vzorek C	Polystyren	2	58	29
4	Vzorek D	Neznámé	3	600	200
5	Vzorek E	Polyetylen	10	350	10
6	Vzorek F	Neznámé	5	1050	220
7	Vzorek G	Chloropren	3,5	800	230
8	Vzorek H	Chloropren	5	1240	250
9	Vzorek I	Polyetylen	5	350	70
10	Vzorek J	Polyolefin	5	550	110
11	Vzorek K	Polyolefin	5	700	140
12	Vzorek L	Polyolefin	5	1650	330

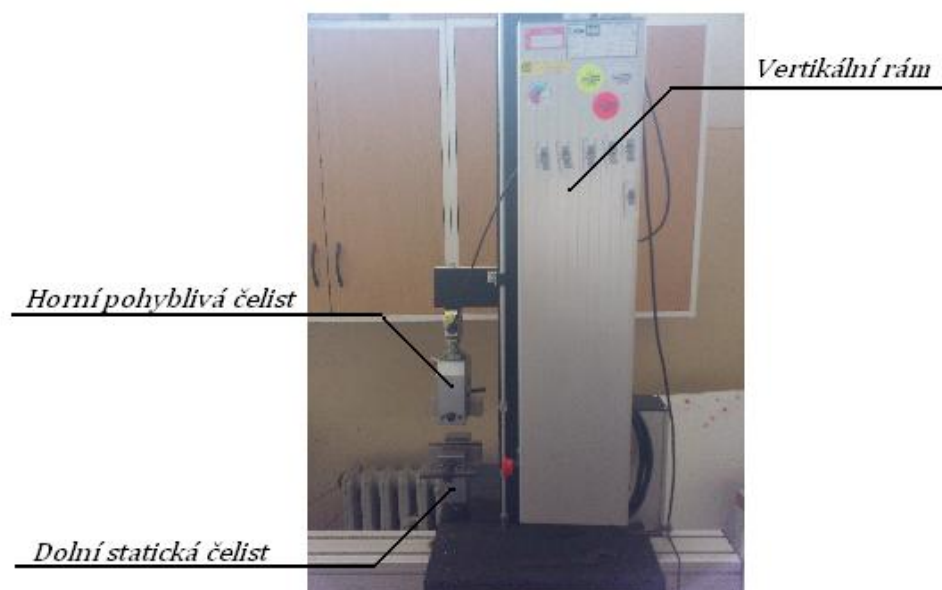
Tab. 4.1: Parametry zkušebních vzorků

4.3. Stanovení pevnosti a tažnosti vybraných materiálů

Tahová zkouška je založena na napínání zkušebních vzorků o určitých rozměrech konstantní rychlostí až do jejich přetržení. Při této zkoušce je získána charakteristická závislost pevnosti vzorku na hodnotě protažení, resp. deformace. Hodnoceným výsledkem jsou hodnoty maximální síly a tažnosti zkušebního vzorku.

4.3.1. Použité metody a zařízení

Tahová zkouška pevnosti v tahu byla provedena pomocí metody Strip na zkušebním přístroji Labtest 2.050 v souladu s normou ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812). Norma stanovuje pět zkušebních vzorků každý o šířce 50 mm ± 0,5 v příčném a v podélném směru. Upínací délka je stanovena na 200 mm, ale jestliže je tažnost při maximální síle vyšší, než 75% je stanovena délka na 100 mm. Popis přístroje můžete vidět na obrázku 4.1. Výsledkem je hodnota nejvyšší dosažené síly a k ní příslušná tažnost.



Obr. 4.1 Zkušební přístroj Labtest 2.050 – Tahová zkouška

4.4. Stanovení stlačitelnosti polymerních materiálů

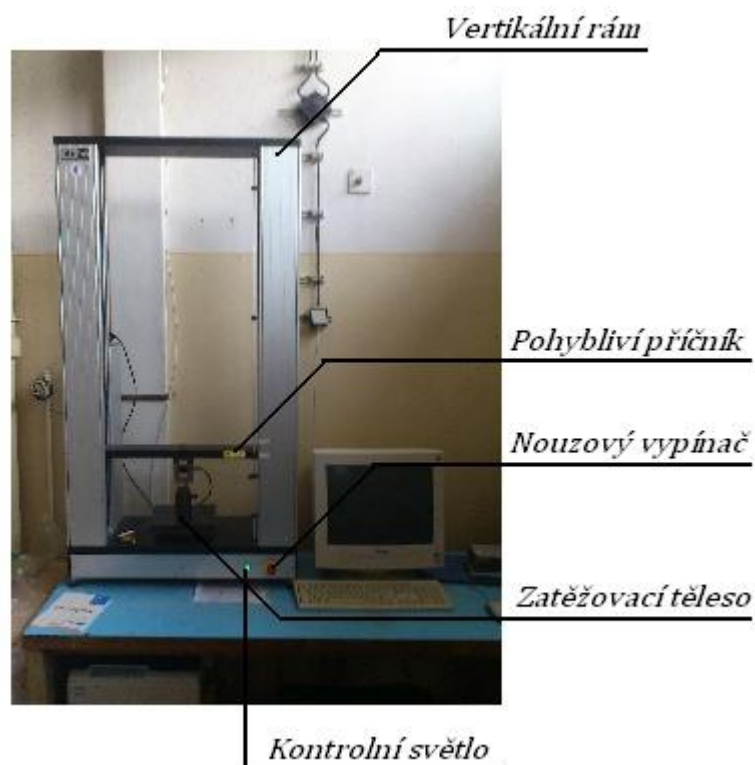
Tato metoda spočívá ve stlačování vzorku stlačovacím tělesem na požadovanou hodnotu deformace. Výsledkem je charakteristická závislost průběhu stlačovací síly na hodnotě deformace.

4.4.1. Použitá metoda

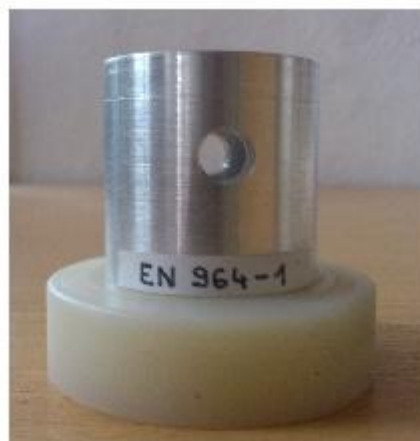
Zkouška stlačitelnosti byla provedena na zkušebním přístroji Labtest 2.050, který můžeme vidět na Obr. 4.2, dle normy ČSN EN ISO 9863-1. Norma předepisuje stanovení tloušťky při stlačení vzorku při tlacích 0,2, 20 a 200 kPa, pomocí zatěžovacího tělesa Obr. 4.3 o průměru 52 mm. Pro účely diplomové práce byla navržena vlastní metodika měření, kdy je vzorek stlačen na 80% své původní tloušťky.

Po stlačení zkušebního vzorku následuje zvednutí zatěžovacího tělesa. Tento postup se opakuje celkem 5krát na pěti různých místech na vzorku.

Výsledkem zkoušky je závislosti zatěžovací síly na hodnotě stlačení vzorku.



Obr. 4.2: Zkušební zařízení Labtest 2.050



Obr. 4.3: Zatěžovací těleso

4.5. Stanovení úderu (TON I)

Tato zkouška má ověřit vhodnost materiálů, které jsou vybrány a určeny pro výrobu ochranných prostředků, v našem případě pro protiúderové rukavice nebo oděv. Pod pojmem ochranný oděv si můžeme představit ochranný prostředek, určený k ochraně hlavy, trupu nebo horních či dolních končetin, který má za úkol ochránit nositele před jistým úderem.

4.5.1. Použité metody a zařízení

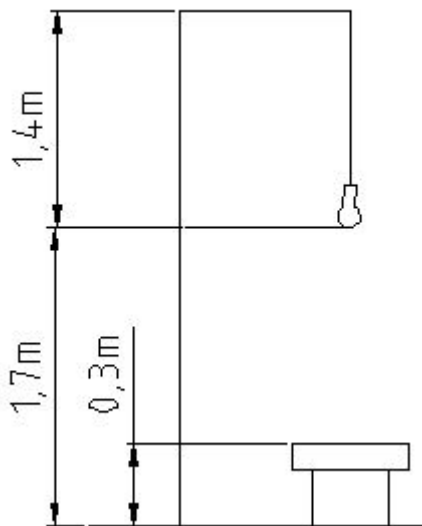
Stanovení odolnosti vůči úderu je provedeno v souladu s normou ČSN 39 5360, která stanoví technické požadavky zkušebního zařízení pro zjištění odolnosti ochranných prostředků bodných zbraní. Požadavky jsou následující, zkušební těleso o hmotnosti 2,6 kg s dopadovou energií (35 ± 1) J s hrotem z nástrojové oceli ve tvaru polokoule (TON I). Zkušební těleso se spouští volným pádem z takové výšky, při které dosáhne dopadové energie 35 J. Výšku, ze které je těleso spuštěno, lze stanovit ze vzorce potenciální energie E_p . (4.1).

$$E_p = h \cdot m \cdot g, \quad (4.1)$$

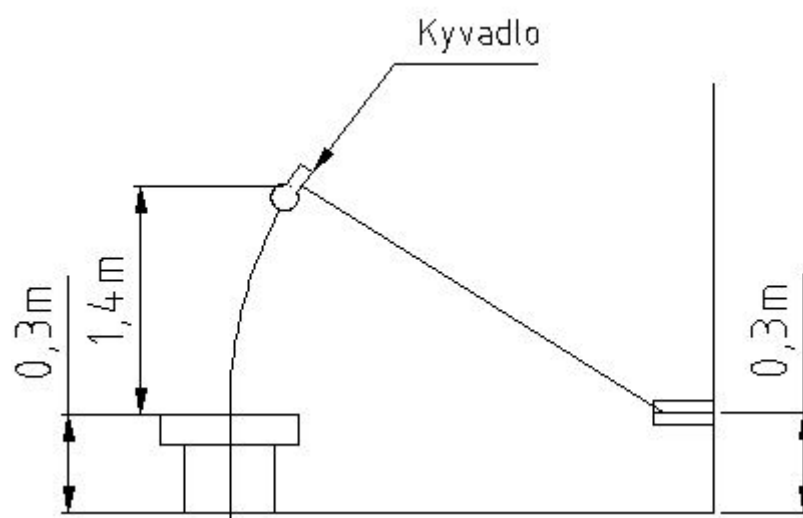
resp. po úpravě získáme vzorec pro výšku pádu (4.2)

$$h = \frac{E}{m \cdot g} = 1370 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Stanovená výška je 1370 mm. Pro sestavení padostroje obr. 4.4 podle normy je zapotřebí disponovat prostory o výšce alespoň 3200 mm. Jelikož vhodné prostory, které by umožnily instalaci padostroje, nebyly v době vypracování diplomové práce k dispozici, byl navržen a zkonstruován padostroj s menšími nároky na výšku, který pracuje na principu kyvadla, pro které postačí výška cca 1700 mm. Jeho popis můžeme vidět na Obr. 4.5.

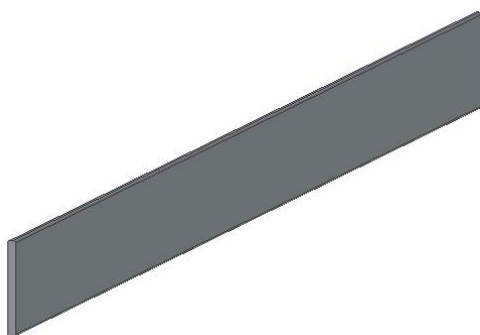


Obr. 4.4: Schéma padostroje

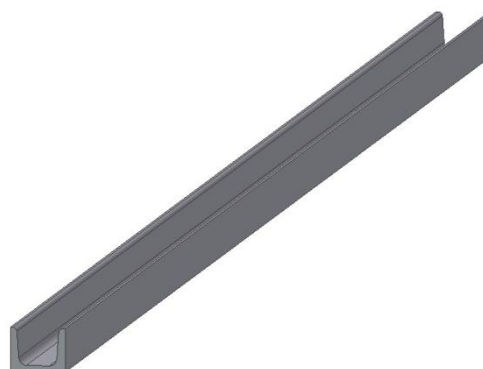


Obr. 4.5: Schéma padostroje resp. kyvadla

Konstrukce padostroje byla uvažována z profilu U a I dle obr. 4.6 a 4.7. Návrh rozměrového uspořádání viz. příloha obr. 9.1 a 9.2. Po porovnání vlastností jednotlivých profilů byl pro konstrukci padostroje vybrán profil I, který více odpovídá požadavku nehmotného závěsu kyvadla.



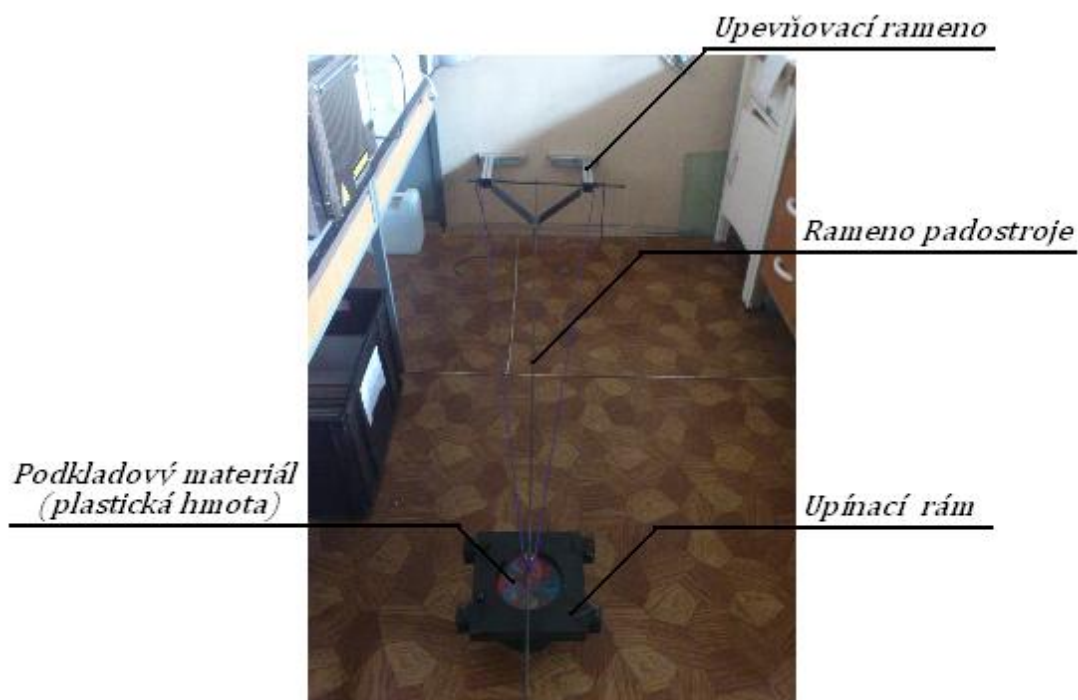
Obr.4.6: Profil I



Obr.4.7: Profil U

Dále proběhlo nastavení délky ramene a to tak, že zkušební těleso bylo na rameni upevněno v takové vzdálenosti, aby v místě dopadu působilo hmotností 2,6 kg, tedy dle požadavků normy. K vážení bylo použito obchodních vah.

Sestava zkušebního zařízení se skládá ze samotné konstrukce padostroje, zkušebního tělesa TON 1, upínacího rámu zkoušeného materiálu a podkladového materiálu. Zařízení je ukázáno na obrázku 4.8.



Obr. 4.8: Sestavené zařízení padostroje

Zkušební zařízení nebylo zhotoveno v souladu s normou ČSN 39 5360, jelikož nebylo možné zajistit odpovídající prostory pro konstrukci a následnou instalaci zkušebního zařízení nejednoznačně popsáno v dané normě a proto bylo navrženo a zkonstruováno zkušební zařízení pro testování materiálů odolávající bodné zbrani (TON I), kompaktnějších rozměrů, avšak o stejné výsledné hmotnosti zkušebního tělesa 2,6 kg a dopadové energii (35 ± 1) J. Z tohoto důvodu se lze domnívat, že přestože zkušební zařízení nebylo zkonstruováno v souladu s danou technickou normou, budou naměřené hodnoty platné a vyhovující pro další zpracování, jelikož dopadová energie 35 J byla dodržena.

Další část přístroje, který není v souladu s normou, je upínací rám zkušebního vzorku, který byl menších rozměrů, než norma uvádí. Jelikož testovaný materiál bude sloužit jako výplň do protiúderové rukavice, která má sama o sobě menší rozměry, nežli ochranný, trupový oděv. Proto byl použit upínací rám, který slouží k obvodovému uchycení zkušebního vzorku o průměru 150 mm, jak lze vidět na Obr. 4.9 norma požaduje velikost vzorku (500 ± 4) mm x (500 ± 4) mm. Díky zmenšení upínacího rámu předpokládáme, že naměřené hodnoty budou lépe odpovídat reálnému použití.



Obr. 4.9: Upínací rám zkušebního vzorku

Pod upínacím rámem se nachází podkladový materiál (plastická hmota), která je umístěna v plastovém pouzdře o stejných rozměrech, jako upínací rám a musí zaručovat hloubku 150 mm. Teplota plastické hmoty může být v rozmezí od 15°C do 30°C.

Poslední součástí sestavy padostroje je zkušební těleso ve tvaru válce o celkové hmotnosti $(1 \pm 0,01)$ Kg a o průměru $(20 \pm 0,5)$ mm, z čehož je pracovní část tvořena polokoulí o poloměru $(12 \pm 0,5)$ mm. Doporučený materiál pro zhotovení zkušebního tělesa je nástrojová ocel.

Princip zkoušky úderem spočívá ve spuštění zkušebního tělesa z určité výšky, tak, aby konec ve tvaru polokoule dopadl nebo proniknul kolmo na zkušební vzorek, který je upnutý v kruhovém rámu. Provádí se tři pádové zkoušky, přičemž jednotlivé otisky do podkladového materiálu musí tvořit rovnostranný trojúhelník o stranách (60 ± 10) mm a vzdálenost od okraje minimálně 60 mm.

4.6. Stanovení skladby sendvičových materiálů

Výrobce rukavic uvádí následující skladbu, ze které se bude při návrhu skladby vyházet. Skladba rukavic se skládá z horní vrstvy, která je opatřena usní o tloušťce 1 mm. Na ní navazuje druhá vrstva, která má za úkol utlumit úder a tím ochránit nositele před zraněním. Tato vrstva bývá převážně nejobjemnější cca 5 mm. Další vrstva není nezbytně nutná, avšak zaručuje lepší komfort pro nositele, její tloušťka se pohybuje kolem 2 mm. Čtvrtá vrstva je vložena do skladby sendviče pouze z důvodů snadnější zpracovatelnosti. Poslední vrstvu tvoří kevlarová pletenina, která zvyšuje pevnost a tepelnou odolnost. Dále je brán velký zřetel při výběru rukavic na tloušťku materiálového sendviče. Tloušťka především ovlivňuje zpracovatelnost, komfort nositele a manipulaci s rukavicí.

4.6.1. Použité metody a zařízení

Pro testování skladby protiúderových rukavic byly vybrány materiály, které prošly nebo dosáhly vyhovujících výsledků v předchozích zkouškách. Testování hloubky vtisku proběhlo stejným postupem jako pro jednotlivé vrstvy.

5. Výsledky

V této kapitole jsou shrnuty výsledky měření jednotlivých zkoušek a analýza získaných dat. Na základě získaných dat byla stanovena doporučení pro změnu skladby sendvičů pro výrobu protiúderových rukavic.

5.1. Tahová zkouška

V průběhu zkoušky byl pořízen snímek zkušebního vzorku, za účelem zachycení jeho měnícího se geometrického tvaru, vlivem působení zátěžových sil. Deformaci v podélném směru můžeme vidět na obr. 5.1.



Obr. 5.1: Deformace v podélném směru

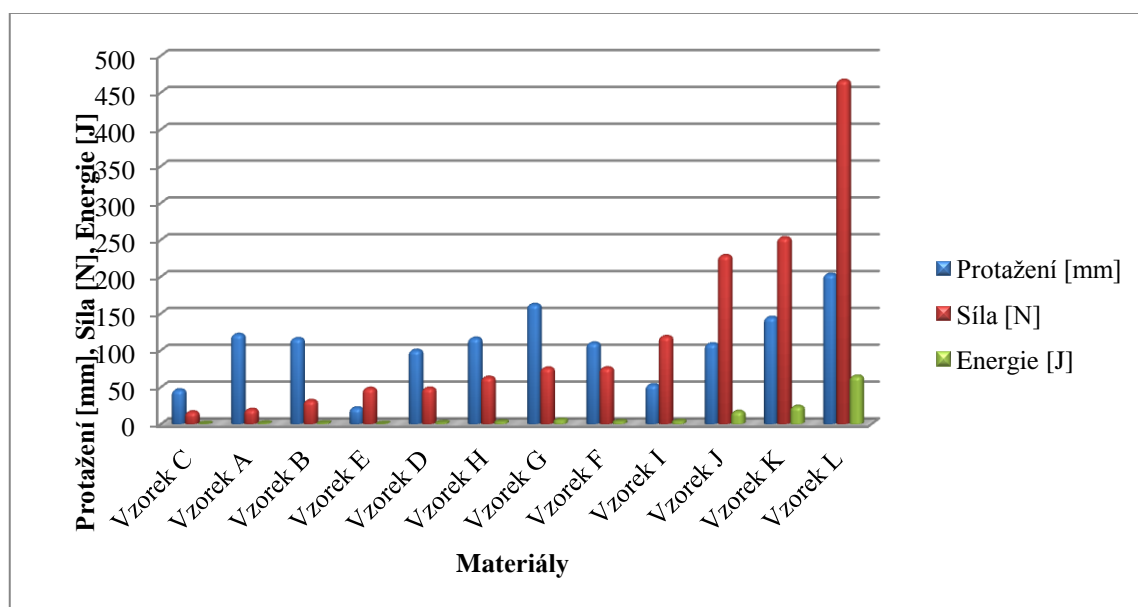
Jelikož průběhy zatěžovacích křivek jednotlivých zkoušek, jak v příčném i podélném směru, jsou téměř shodné, jak uvádí tabulka 5.1 pouze jejich společný aritmetický průměr protažení, síly a energie v tahu. Tyto hodnoty dále použijeme pro statistické vyhodnocení. Tabulka je seřazena vzestupně od nejmenší hodnoty síly.

Pevnost a tažnost							
Index	Název	Protažení [mm]	směr.odchyl. [mm]	Síla [N]	směr.odchyl. [N]	Energie [J]	směr.odchyl. [J]
1	Vzorek C	46,37	16,299	16,55	3,910	0,66	0,309
2	Vzorek A	121,71	6,323	20,03	5,178	1,46	0,027
3	Vzorek B	116,07	6,54	31,97	0,671	1,79	0,048
4	Vzorek E	21,93	2,286	48,49	2,827	0,71	0,023
5	Vzorek D	100,12	5,3	48,78	2,426	2,39	0,186
6	Vzorek H	116,51	9,666	63,53	1,491	3,65	0,132
7	Vzorek G	162,34	8,474	76,11	7,503	6,05	0,516
8	Vzorek F	110,05	7,89	76,29	2,5	4,06	0,169
9	Vzorek I	53,37	7,122	118,81	8,84	4,49	0,595
10	Vzorek J	108,92	3,822	228,65	4,66	17,17	0,749
11	Vzorek K	144,87	18,826	253,01	5,753	24,06	1,220
12	Vzorek L	203,33	20,069	466,63	20,313	65,13	1,546

Tabulka 5.1: Přehled průměrných hodnot zkoušky pevnosti a tažnosti v tahu

Z následujícího grafu 5.1 vyplývá, že vzorek L nejlépe odolává tahové deformaci, která byla provedena do přetrhu. Tento vzorek má i nejvyšší elasticitu. Dále následují vzorky J a K, jež také projevíly vysokou odolnost v tahu a dobrou elasticitu.

Z tohoto měření vyplývá a můžeme vidět i v grafu, že u vzorků A, B, C, D, F, G a H je síla menší, než protažení. Čili je zřejmé, že vzorky jsou více pružnější, než-li pevnější. Vzorek C vydržel nejmenší zatížení, čímž se nejrychleji projevila jeho deformace a následná destrukce.



Graf 5.1: Grafické znázornění protažení, síly a energie

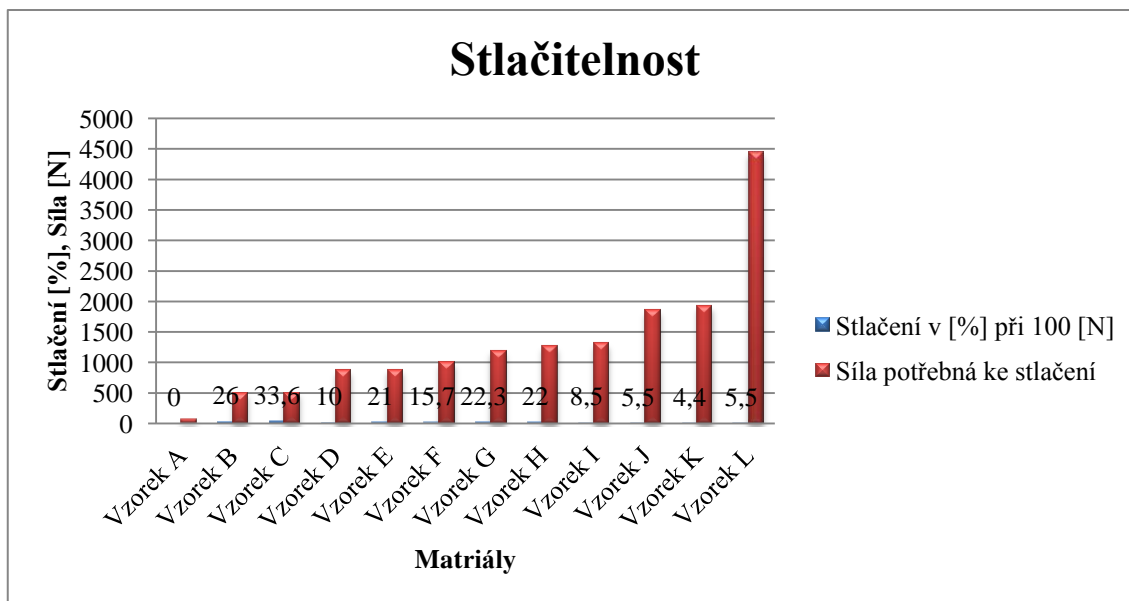
5.2. Stlačitelnost

Na základě měření stlačitelnosti jsou získány zatěžovací křivky potřebných sil, kdy je zkušební vzorek stlačován na 80% ze své původní tloušťky. Průměry deformačních sil při 80% jsou uvedeny v tabulce 5.2 spolu s průměrnými hodnotami stlačení v % při 100 N. Tyto hodnoty jsou doplněny o směrodatnou odchylku.

Stlačitelnost					
Index	Název	Stlačení [%]	Směr.odchyl[mm]	Síla [N]	Směr.odchyl.[N]
1	Vzorek A	-	-	65,08	0,15
2	Vzorek B	26	0,05	500,34	0,08
3	Vzorek C	33,6	0,025	501,92	0,054
4	Vzorek D	10	0,057	869,28	0,086
5	Vzorek E	21	0,073	877,57	0,092
6	Vzorek F	15,7	0,06	996,26	0,043
7	Vzorek G	22,3	0,082	1187,26	0,12
8	Vzorek H	22	0,065	1269,62	0,044
9	Vzorek I	8,5	0,85	1311,95	0,216
10	Vzorek J	5,5	0,066	1848,09	0,064
11	Vzorek K	4,4	0,042	1924,8	0,053
12	Vzorek L	5,5	0,09	4445,71	0,139

Tabulka 5.2: Přehled průměrných hodnot stlačitelnosti

Hodnoty z tabulky 5.2 jsou vyneseny do grafu 5.2 a pro lepší názornost jsou seřazeny od nejmenší síly potřebné ke stlačení zkušebního vzorku po největší. Vzorek L nejlépe obstál při deformaci tlakem. Pro stlačení tohoto vzorku bylo zapotřebí 4445,71 N. Hodnoty síly potřebné ke stlačení vzorků G, H, I, J, K se pohybovaly v rozmezí od 1000 N do 2000 N. Oproti tomu Vzorky A, B, C, D, E jsou snadněji stlačitelné, pro jejich stlačení je zapotřebí pouze síla pod 1000 N. Vzorek A je snadno stlačitelný proto nebylo možné naměřit hodnotu stlačitelnosti v procentech při 100 N, jelikož tento vzorek dosáhl mezních hodnot již při 65,08 N. Největší rozdíl mezi původní tloušťkou a stlačenou má vzorek C 33,6%. A naopak nejmenší rozdíly mají vzorky K, J, L, které se stlačily pouze o 4,4% a 5,5%.



Graf 5.2 Stlačitelnosti

5.3. Odolnost proti úderu

V průběhu zkoušky byly pořízeny snímky 5.2, na kterých můžeme vidět hloubku vtisku do zkušebního materiálu. Níže uvedená tabulka 5.3 uvádí průměrné hodnoty hloubky vtisku ze tří měření. Hodnoty vtisku do podkladového materiálu jsou řazeny od nejmenší průměrné hodnoty po největší průměrnou hodnotu.

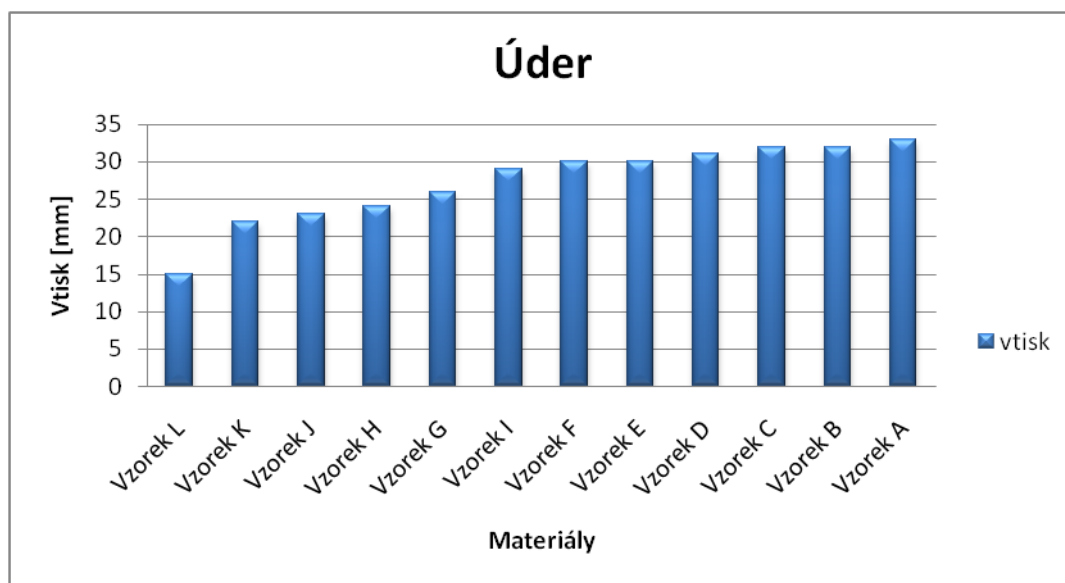


Obr. 5.2: Hloubka vtisku

Úder (TONI)			
Index	Název	Hloubka vtisk [mm]	Směr.odchyl.[mm]
1	Vzorek L	15	0,125
2	Vzorek K	22	0,163
3	Vzorek J	23	0,094
4	Vzorek H	24	0,047
5	Vzorek G	26	0,094
6	Vzorek I	29	0,082
7	Vzorek F	30	0,163
8	Vzorek E	30	0,047
9	Vzorek D	31	0,125
10	Vzorek C	32	0,047
11	Vzorek B	32	0,125
12	Vzorek A	33	0,125

Tab. 5.3: Přehled hodnot hloubky vtisku úderu

Z grafického schématu níže uvedeného 5.3, můžeme vidět škálu hodnot hloubky vtisku, které vypovídají o odolnosti materiálu vůči úderu. Čím nižší číselná hodnota, tím vyšší odolnost proti deformaci úderem. Nejlépe v této zkoušce obstál vzorek L, který vydržel úder energií 35 J, při prohloubení pouze 15 mm. Vzorky, které mají uvedené hodnoty nižší nebo rovny hloubce vtisku 25 mm jsou vyhovující. Zbývající vzorky jsou nevyhovující pro dané použití.



Graf. 5.3: Hodnoty úderu – hloubka vtisku

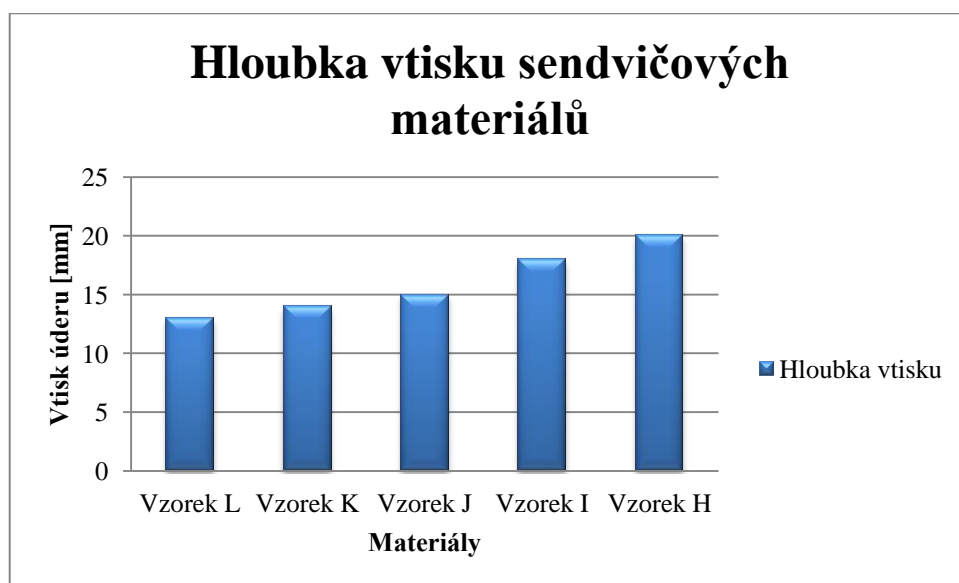
5.4. Odolnost navržené skladby proti úderu

Při testování sendvičů bylo vybráno pět vzorků, které měly vyhovující výsledky v každé zkoušce. Testované materiály můžeme vidět v tabulce 5.4 uvedené níže. Skladby sendvičů byly následující, první vrstva useň, druhá vrstva zkušební materiál, třetí vrstva plátňová tkanina a poslední vrstvou byla kevlarová pletenina.

Úder - sendvič			
Index	Název	Hloubka vtisku [mm]	směr.odchyl [mm]
1	Vzorek L	13	0,471
2	Vzorek K	14	0,471
3	Vzorek J	15	0,236
4	Vzorek I	18	0,236
5	Vzorek H	20	0,624

Tab. 5.4: Hloubka vtisku sendvičů

Jak můžeme vidět z grafu 5.4, nejlépe obstál sendvič, kde byl použit vzorek L, který dosáhl pouze hodnoty 13 mm. Vzorky K a J dosáhly také nízkých hodnot 14 a 15 mm. Tyto tři vzorky bych doporučila pro výrobu protiúderových rukavic. Všech pět vzorků mělo tloušťku 5mm. Tloušťka protiúderového sendviče by měla být v rozmezí 9 mm až 10 mm. Celková tloušťka testovaných sendvičů se pohybuje kolem 7,2 mm, což je vyhovující tloušťka pro zhotovení protiúderových rukavic.



Graf. 5.4 Hloubka vtisku sendvičových materiálů

5.5. Statistické vyhodnocení hypotézy

Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu Statistica. Jako vstupní data byly použity výsledky měření jednotlivých zkoušek zkušebních vzorků. Uvedené hodnoty v tabulce 5.5 byly použity pro výpočet vzájemných korelací a zjištění vzájemných závislostí mezi danými mechanickými vlastnostmi.

Hodnoty mechanických vlastností						
Název	Stlačení v [%] při 100 [N]	Síla potřebná ke stlačení [N]	Hloubka vtisku [mm]	Protažení v tahu [mm]	Síla v tahu [N]	Energie v tahu [J]
Vzorek J	5,5	1848,09	23	108,92	228,65335	17,171665
Vzorek K	4,4	1924,8	22	144,86665	253,01	24,058335
Vzorek L	5,5	4445,71	15	203,3333	466,6317	65,125
Vzorek C	33,6	501,92	32	46,365	16,55333	0,656667
Vzorek G	22,3	1187,26	26	162,34	76,108335	6,053333
Vzorek A	0	65,08	33	121,70665	20,025	1,458333
Vzorek I	8,5	1311,95	29	53,373335	118,805	4,493334
Vzorek H	22	1269,62	24	116,50835	63,528335	3,651667
Vzorek F	15,7	996,26	30	110,045	76,285	4,055
Vzorek D	10	869,28	31	100,121685	48,77667	2,393333
Vzorek B	26	500,34	32	116,0683	31,966665	1,791667
Vzorek E	21	877,57	30	21,93	48,485	0,711666

Tab. 5.5: Hodnoty mechanických vlastností

Korelace						
Mechanické vlastnosti	Stlačení v [%] při 100 [N]	Síla potřebná ke stlačení [N]	Hloubka vtisku [mm]	Protažení v tahu [mm]	Síla v tahu [N]	Energie v tahu [J]
Stlačení v [%] při 100 [N]	1	-0,377	0,362	-0,386	-0,520	-0,439
Síla potřebná ke stlačení [N]	-0,377	1	-0,936	0,612	0,966	0,962
Hloubka vtisku [mm]	0,362	-0,936	1	-0,667	-0,918	-0,882
Protažení v tahu [mm]	-0,386	0,612	-0,667	1	0,624	0,685
Síla v tahu [N]	-0,520	0,966	-0,918	0,624	1	0,969
Energie v tahu [J]	-0,439	0,962	-0,882	0,685	0,969	1

Tab. 5.6: Korelační tabulka

Tabulka korelačních koeficientů vybraných znaků 5.6 uvádí výpočty hladin významnosti. Je-li hladina významnosti větší, je korelační koeficient významný, což je v korelační matici vyznačeno zelenou barvou. Významné hodnoty pro zjištění závislosti mezi hloubkou vtisku tedy úderu a ostatními mechanickými vlastnostmi leží v řádku vyznačené oranžovou barvou. Jak můžeme, vidět čtyři z pěti korelací jsou ve významné hladině. Hloubka vtisku nekoreluje se znakem stlačitelnost, která je udávaná v procentech, tím je tento vztah pro nás nezajímavý. Oproti tomu vztah hloubky vtisku a síly potřebné ke stlačení spolu záporně korelují. To nám říká, že čím je hloubka vtisku větší, tím je za potřebí menší síly ke stlačení materiálu. Mezi hloubkou vtisku a protažením v tahu je také záporná korelace, která poukazuje na skutečnost, že čím je hloubka vtisku větší, tím je zkušební vzorek více elastický. Záporný korelační koeficient vyšel i mezi hloubkou vtisku a silou v tahu. Na základě tohoto zjištění můžeme říct, že čím větší síla je zapotřebí k přetržení zkušebního vzorku, tím je daný materiál odolnější vůči úderu. Zcela stejný průběh závislosti má poslední hodnota korelace mezi hloubkou vtisku a energií potřebnou k přetrhu vzorku.

Na základě těchto korelačních hodnot můžeme potvrdit existující závislost hloubky vtisku se silou potřebnou ke stlačení materiálu, protažením v tahu, se silou v tahu a energií v tahu.

Na základě měření a korelačních výpočtů se potvrdila domněnka, že existuje určitá závislost mezi hodnotami úderu a hodnotami získanými ze zkoušek stlačitelnosti a pevnosti a tažnosti. Kdy tyto dvě zkoušky jsou statického charakteru, kdežto úder je dynamická zkouška. Z toho vyplývá, že nebude za potřebí pro zjištění odolnosti vůči úderu provádět úderovou zkoušku padostrojem, ale postačí provést snadno stanovitelné statické zkoušky a na základě mechanických vlastností určit vhodnost materiálu.

6. Diskuze výsledků

Z výsledků tahové zkoušky je zřejmé, že vzorky J, K, L vykazovaly nejvyšší odolnosti proti přetrhu. Hodnoty se pohybují v rozsahu přibližně mezi 200 – 500 N. Tyto vzorky mají shodnou tloušťku i materiálové složení, avšak mají odlišnou objemovou hmotnost, tedy hustotu materiálu. Nejmenších odolností vůči přetrhu dosáhly materiály, které měly nízkou objemovou hmotnost, např. vzorek A, což byl vzorek polyuretanové pěny. Zajímavé chování vykazovaly vzorky B, D, F. Při počátečním zatížení se vzorek jeví jako velmi elastický, avšak při dalším zatěžování dochází ke zvýšení tuhosti a křehkosti a vzorek se velmi rychle přetrhne. Vlastnosti vzorků se liší tloušťkou, zatímco objemová hmotnost je přibližně stejná. Dle očekávání bylo zjištěno, že s rostoucí tloušťkou roste i tahová pevnost vzorku. Dobrých výsledků dosáhly také vzorky neoprenu díky vysoké pružnosti a větší tloušťce. Z výsledků je zřejmé, že hustota vzorku významně ovlivňuje zkoumané vlastnosti, přičemž s ohledem na zpracovatelnost, funkčnost i pohodlí při nošení nelze tvrdit, že vyšší hustota bude znamenat vhodnější materiál.

Významnou roli má stlačitelnost, kterou je jako doplňující informaci při návrhu skladby nutno brát v potaz, neboť významně ovlivňuje měkkost materiálu a tím i pohodlí, které bude nositeli poskytovat. V jejím případě se ukázalo, že stlačitelnější vzorky jsou ty, které jsou vyrobeny z elastičtějších materiálů, s nízkou objemovou hmotností a otevřenější strukturou. Např. vzorek A v této zkoušce dosáhl nejnižších hodnot a vzorky C, G, F byly snadno stlačitelné již při velmi nízkých silách.

Při zkoušce úderem, která byla pro posouzení vlastností materiálu nejvýznamnější, dosáhly nejlepších výsledků vzorky s vysokou objemovou hmotností a větší tloušťkou. Vzorky s nízkou objemovou hmotností byly trvale zdeformovány či roztrženy bez ohledu na hodnotu tloušťky. Z hlediska odolnosti vůči úderu je lze považovat za nepoužitelné.

Navržené skladby rukavic obsahovaly vzorky J, K, L, H, I o shodné tloušťce 5 mm, odlišovaly se hustotou (J, K, L) a také materiálovým složením (H, I). Nejlepších výsledků dosáhla skladba se vzorkem L a hloubkou vtisku 13 mm, dále se vzorkem K se 14 mm a následovaly vzorky J (15 mm), I (18 mm) a H (20 mm). Vzorek L vykazoval nejvyšší hustotou a méně otevřenou buněčnou strukturou. Důležité je zde i pořadí materiálů ve skladbě. Jako první vrstva vždy byla useň, která mírně ztlumila náraz, který se dále přenášel do druhé vrstvy obsahující zkoušený materiál. Kevlarová vložka celý sendvič dále zpevnila.

Navržená hypotéza byla ověřována pomocí hledání vzájemných závislostí mezi jednotlivými zjišťovanými vlastnostmi. Tyto závislosti byly hledány pomocí korelačního koeficientu, přičemž byla posuzována jeho hodnota mezi hloubkou vtisku a dalšími měřenými vlastnostmi. Z korelační tabulky jsou patrné vysoké hodnoty korelačního koeficientu, který je v každém případě záporný. Korelace mezi hloubkou vtisku a silou potřebnou ke stlačení byla nejvyšší z daných závislostí (-0,936). Z toho vyplývá, že čím je větší hloubka vtisku, tím je zapotřebí menší deformační síly ke stlačení. Další závislost je také záporná s nejnižší korelační hodnotou, ale stále poměrně významnou (-0,667). Tato korelační hodnota spojuje znaky hloubky a protažení. Z této korelace vyplývá, že hloubka vtisku je tím větší, čím je materiál elastičtější. Druhá nejvyšší korelace (-0,918) je mezi hloubkou vtisku a tahovou silou. Čím je hloubka menší, tím větší je síla nutná k přetržení zkušební vzorku. Jako poslední významně korelující závislost je mezi hloubkou vtisku a energií v tahu.

Důležitou vlastností při posuzování vzájemných závislostí je také energie nutná pro přetržení vzorku při tahové zkoušce. Ta souvisí nejen s maximální dosaženou hodnotou síly, ale také s průběhem zatěžovací křivky. Energie bude vyšší při lineárním a konkávním průběhu, zatímco při konvexním průběhu budou hodnoty energie nižší. Ze získaných výsledků korelační matice tedy vyplývá, že hypotézu lze přijmout a vzorky odolné proti úderu vybírat podle staticky získaných vlastností. Výjimku mohou tvořit materiály, které obsahují vzduch, který není schopen ze struktury volně unikat a při rychlém stlačení se tak stává dalším prvkem, který stlačení odolává.

Pro volbu požadovaných vlastností je tedy vhodné vybírat materiály s vysokou odolností v tahu, nízkou tažností, resp. vysokou tuhostí a stlačitelnost volit také spíše nižší. Hodnoty by se měly pohybovat následovně:

- pevnost v tahu nad 250 N
- tažnost do 100 %
- odolnost ve stlačení při 80% deformaci nad 1100 N.

Není-li k dispozici zatěžovací křivka pevnosti v tahu a při stlačení, je vhodné se orientovat podle dosažené energie, která by se měla blížit spíše hodnotám energie lineárního či konkávního průběhu. Při volbě materiálu je taktéž důležitá celková skladba materiálů a s ohledem na ni lze volit protiúderovou vrstvu. Např. jsou-li další vrstvy skladby rukavice málo tažné a dostatečně pevné, lze použít materiál, který dosahuje vysokých hodnot síly při stlačení, ale nízkých hodnot pevnosti v tahu, protože ostatní vrstvy tuto chybějící vlastnost zajistí. Samozřejmě je nutné brát v potaz tloušťku použitého materiálu, jeho ohybovou tuhost a to z důvodu zpracovatelských vlastností.

7. Závěr

Tato diplomová práce se zabývala studiem vlastností materiálů vhodných k výrobě protiúderových rukavic pro policii a armádu, které by měly ochránit nositele před případným zraněním.

Cílem bylo zjistit, jak spolu souvisejí jednotlivé mechanické vlastnosti a především, jaký je jejich vztah k odolnosti vůči úderu. Vyhodnotit, zda je možné na základě staticky provedených zkoušek posuzovat odolnost materiálu vůči úderu, která je zkouškou dynamickou. Bylo provedeno měření stlačitelnosti, pevnosti a tažnosti, včetně energií nutných pro provedení zkoušky a také hloubky vtisku při úderu. Pro změření hodnot úderu byl navrhnout a zkonstruován padostroj pracující na principu kyvadla. Tento způsob byl navrhnout z důvodů absence odpovídajícího prostoru pro instalaci zkušebního zařízení podle dané normy, a proto bylo navrženo a zkonstruováno zkušební zařízení pro testování materiálů v odolnosti proti úderu s kompaktnějšími rozměry, avšak dávající shodné, či velmi podobné výsledky.

Ze získaných výsledků odolnosti jednotlivých materiálů vůči úderu vyplynulo, že materiály s vyšší objemovou hmotností lépe odolávají úderu. U tloušťky se tento trend nepotvrdil.

Dalším důležitým parametrem je struktura lehčených materiálů, která může být tvořena otevřenými či uzavřenými buňkami. Materiály s otevřenou strukturou podléhají snáze deformaci, než materiály s uzavřenou strukturou. To je zřejmě dáno vzájemným propojením pórů a snadným únikem přítomného vzduchu.

Získané výsledné hodnoty jednotlivých měření posloužily k porovnání s odolností vůči úderu. Byla vytvořena korelační matice mezi těmito vlastnostmi a na jejím základě bylo možno potvrdit stanovenou hypotézu, tedy že lze nalézt závislost mezi vybranými vlastnostmi získanými statickými a běžně dostupnými zkouškami a není proto při výběru nutné provádět zkoušku pomocí padostroje. Všechny vybrané vlastnosti spolu vysoce záporně korelovaly, pouze hodnota stlačení uvedená v procentech při zatížení na 100 N nebyla označena za významnou. To mohlo být zapříčiněno např. tím, že průběh křivky není lineární a tuhost materiálu se během zkoušky nepředvídatelně mění. Proto je vhodné se orientovat při výběru materiálu i podle získané hodnoty energie, kterou je pro tahovou či stlačovací zkoušku nutno vynaložit.

Dále bylo na základě provedených zkoušek vybráno pět vhodných materiálů, jež byly otestovány v sendvičové skladbě. Jako nejvhodnější materiál pro skladbu protiúderové rukavice se ukázal vzorek L s tloušťkou 5mm, vyrobený z polyetylenů a s objemovou hmotností 330 kg/m^3 , který by měl odolat větším rázům, než materiál používaný na výrobu protiúderové rukavice v současnosti. To se potvrdilo, protože současně používaný materiál dosáhl hloubky vtisku 18 mm (vzorek I), zatímco vzorek L dosáhl hloubky pouze 13 mm. Taktéž byly navrženy přibližné hodnoty některých vlastností pro splnění odolnosti vůči úderu.

8. Literatura:

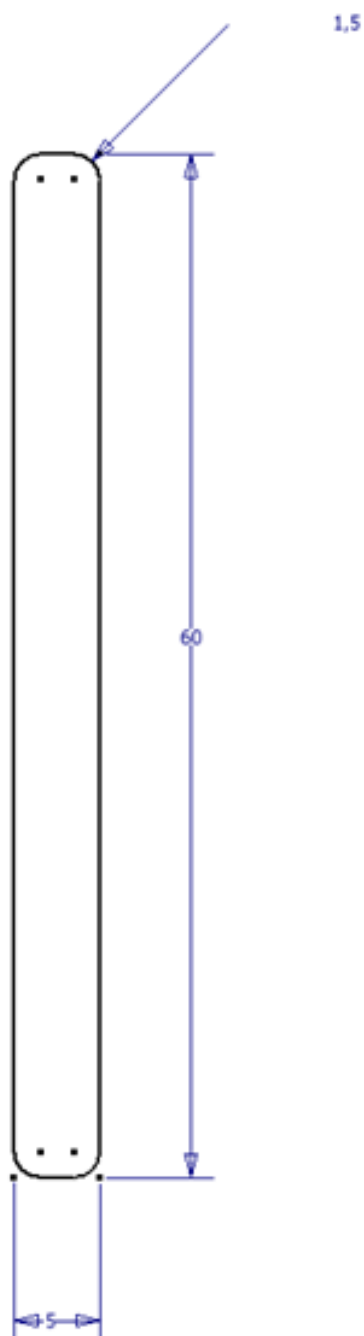
- [1] Katalogy výrobků a informace o sortimentu společnosti Holík International, spol. s r.o. [online]. [cit. 2011-10-8]. Dostupné z: <<http://www.holik-international.cz/rukavice-pro-armadu-a-policii/>>
- [2] ČNS 395360. *Zkoušky odolnosti ochranných prostředků: Zkoušky odolnosti proti střelám, střepinám a bodným zbraním Technické požadavky a zkoušky*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [3] BRADSKÝ, Z. a R. VRZALA. *Mechanika. 3., Dynamika*. 2. opr. vyd. Liberec : VŠST, 1986.
- [4] FEYNMAN, R. P., R. B. LEIHTON a M. SANDS. *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady 1/3*. 1. vyd. Praha: Fragment, 2000. ISBN 80-7200-405-0.
- [5] FEYNMAN, R. P., R. B. LEIHTON a M. SANDS. *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady 2/3*. 1. vyd. Praha: Fragment, 2001. ISBN 80-7200-420-4.
- [6] PETRŮ, M. a NOVÁK. Mechanical properties of Nonpolyurethane materials for PU foam replacement in car seat.
- [7] MLEZIVA, J. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [8] DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [9] MILLS, Nigel J. *Polymer foams handbook: engineering and biomechanics applications and design guide*. 1. vyd. Oxford: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8069-1.
- [10] Článek: What is the Difference Between Open-cell and Closed-cell Polyurethane Foams? [online]. [cit. 2011-11-2]. Dostupné z: <http://www.foamtech.com/products/urethane_foam/open_closed_cell.htm>
- [11] Dokument: Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications. [online]. [cit. 2011-12-23]. Dostupné z: <http://www.tx.ncsu.edu/jtatm/volume4issue4/Articles/Bruer/Bruer_full_149_05.pdf>
- [12] LENFALDOVÁ, Irena; SYROVÁTKOVÁ, Martina. Speciální pletářské výroby. Liberec: Přednášky TUL, 2012

- [13] ČSN EN ISO 13934-1. *Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií: Část 1: Zjišťování maximální síle pomocí metody Strip*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [14] ČSN EN ISO 9863-1. Geosyntetika – Zjišťování tloušťky specifickými tlaky: Část 1: Jednotlivé vrstvy. Praha: Český normalizační institut, 1999
- [15]. MELOUN, M., J. MILITKÝ a M. HILL. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. 1. vyd. Praha: Academia, 2005. ISBN 80-200-1335-0.

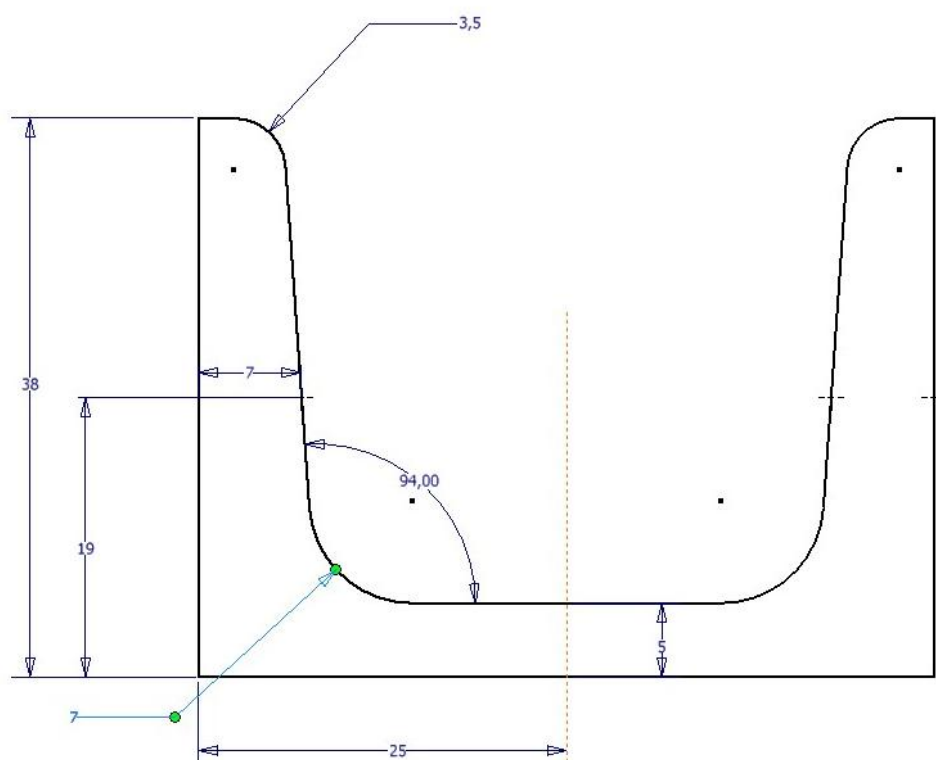
9. Příloha

Str. 1 - Obr. 5.8: Rozměry profilu I

Str. 2 - Obr. 5.8: Rozměry profilu U



Obr. 5.8: Rozměry profilu I



Obr. 5.8: Rozměry profilu U